

# Diseño y Fabricación de Guitarra Eléctrica Modular



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

## Trabajo Fin de Grado

Adrián Adín Villafranca

Francisco Javier Bea Montes

Tudela, 14 de Noviembre de 2016



## RESUMEN

El presente TFG trata sobre el diseño y fabricación de una guitarra eléctrica modular. Es decir una guitarra a la cual se le podrá cambiar el contorno. Esta modificación se podrá realizar de una forma rápida y sencilla mediante un sistema de unión excéntrica que consta de un excéntrico y un perno perpendiculares entre sí. Para el proceso de diseño se tendrán en cuenta también parámetros como la ergonomía y las conexiones eléctricas.

## PALABRAS CLAVE

Sustain, longitud de escala, bolt-on neck, unión excéntrica.

# Índice

Introducción .....	1
Historia.....	1
Orígenes de la guitarra eléctrica.....	1
Definición de las diferentes partes .....	3
Cuerpo .....	3
Mástil.....	3
Pala.....	4
Diapasón.....	4
Clavijas.....	4
Cejuela.....	4
Trastes .....	4
Alma .....	4
Marcadores de posición.....	4
Pastillas .....	5
Controles .....	9
Puente.....	10
Golpeadores.....	10
Metodología .....	12
Restricciones .....	13
Longitud de escala.....	13
Tipo de construcción .....	14
Diseño del Cuerpo.....	18
Grosor.....	21
Contorno.....	22
Rebajes .....	26
Sistema de anclaje .....	29
Diseño del Mástil .....	32
Longitud de escala.....	32
Unión con el cuerpo .....	32
Forma de la sección o perfil del mástil.....	33
Diapasón.....	35
Trastes .....	35
Tipo de madera.....	38
Alma (Truss Rod).....	38
Cejuela (Nut) .....	40
Diseño de la Pala.....	42

Pala recta .....	42
Pala angulada .....	42
Solución Electrónica .....	44
Fabricación .....	46
Cuerpo central .....	46
Mástil.....	49
Módulos.....	61
Acabados .....	65
Montaje .....	66
Presupuesto del prototipo .....	68
Bibliografía .....	71

## Introducción

El presente trabajo trata sobre el diseño y la fabricación de una guitarra eléctrica modular. Para ello debemos saber los componentes de los cuales está formada una guitarra así como diferentes factores que deben tenerse en cuenta para su diseño. Para ponernos en situación a continuación se va a contar un poco de historia de cómo surgieron las guitarras eléctricas y cuál era su utilidad. Posteriormente se definirá cada una de las partes de una guitarra eléctrica.

## Historia

La guitarra eléctrica surgió de una necesidad de los músicos de jazz, tratando de amplificar su sonido. Desde entonces, se ha convertido en un instrumento musical de cuerdas, capaz de una multitud de sonidos y estilos. Sirve como un componente importante en el desarrollo del rock and roll y de otros géneros de la música, en especial el Funk, género musical en que se usa desde finales de los 60.

### Orígenes de la guitarra eléctrica

En la década de 1920, en las orquestas de baile y las bandas de jazz de los Estados Unidos de Norteamérica se utilizaban distintos tipos de guitarras acústicas. Sin embargo, debido a su escasa sonoridad en comparación con otros instrumentos, su utilización se limitaba por lo general al acompañamiento. Buscando cómo resolver este problema, Lloyd Loar, uno de los ingenieros de la fábrica de guitarras Gibson, empezó a experimentar con imanes, y en 1924 diseñó una pastilla que podía acoplarse a una guitarra tradicional de seis cuerdas. De este modo, se conseguía convertir las vibraciones generadas por el cuerpo del instrumento en señales eléctricas que eran amplificadas a través de un altavoz. El mayor avance se produjo en 1931, cuando Paul Barth y George Beauchamp, empleados de la Compañía Nacional en California, que también fabricaba pastillas, se asociaron con Adolph Rickenbacker para formar la Electro String Company, la primera en comercializar instrumentos eléctricos. Juntos crearon las guitarras de acero y aluminio fundido conocidas como “sartenes” por su forma.



*Imagen 1. "La Sartén"*

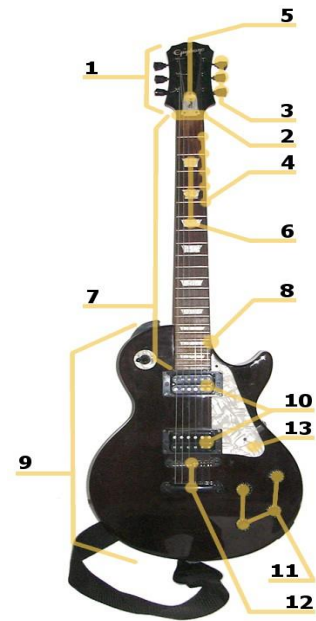
Durante la década de 1940, algunos músicos e ingenieros se dispusieron a diseñar y fabricar una guitarra eléctrica compacta. Al hacerlo, intentaban solucionar un problema que se producía al incorporar pastillas a las guitarras acústicas: si el volumen del amplificador era demasiado alto, el sonido del altavoz hacía vibrar el cuerpo de la guitarra produciéndose una molesta distorsión del sonido conocida como "feedback" o realimentación. La solución lógica era aumentar la masa del instrumento, para reducir su capacidad de vibración; de aquí que aparecieran las guitarras eléctricas compactas (o de cuerpo sólido). No hay acuerdo respecto a quién fue el que creó la primera de ellas. A principios de los años cuarenta el guitarrista de country-jazz Les Paul creó su propia guitarra "Log" (tronco), usando un mástil Gibson adherido a un bloque de madera de pino, sobre el cual se montaron las pastillas y el puente. Cuando trató de vender la idea a Gibson, éste no demostró ningún interés. Por su parte, Paul Bigsby, ayudado en el diseño por el guitarrista de country Merle Travis, creó una guitarra compacta con un aspecto bastante similar al de las guitarras eléctricas actuales. («The History of The Electric Guitar: How Music Was Changed Forever - free article courtesy of ArticleCity.com», s. f.)

## Definición de las diferentes partes

Una guitarra eléctrica es un instrumento musical de cuerdas que utiliza el principio de inducción electromagnética para convertir la vibración de sus cuerdas en señales eléctricas. Como esta señal generada es relativamente débil, se amplifica antes de llevarla a un altavoz. Esta señal de salida de la guitarra eléctrica puede ser fácilmente alterada mediante circuitos electrónicos para modificar algunos aspectos del sonido. El sonido de la guitarra es influido por la escala, el material del cuerpo y mástil, de las pastillas y su ubicación y en menor medida por el puente y la cejilla. («Guitarra eléctrica», 2016)

La guitarra eléctrica está formada por las siguientes partes:

- |     |                        |               |
|-----|------------------------|---------------|
| 1.  | Clavijero              | 12. Puente    |
| 2.  | Cejuela                | 13. Golpeador |
| 3.  | Clavijas               |               |
| 4.  | Trastes                |               |
| 5.  | Alma                   |               |
| 6.  | Marcadores de posición |               |
| 7.  | Diapasón               |               |
| 8.  | Mástil                 |               |
| 9.  | Cuerpo                 |               |
| 10. | Pastillas              |               |
| 11. | Controles              |               |



### Cuerpo

Normalmente esta hecho de madera. Habitualmente caoba, fresno o aliso. En su interior se alojan todos los componentes electrónicos y puede ser sólido, semisólido o totalmente hueco. Es la parte estética de la guitarra.

### Mástil

El mástil esta hecho de madera habitualmente arce, pudiendo ser también de caoba u otro tipo de maderas. Suele ir cubierto por una capa da de madera (diapasón) que puede ser de ébano, palorrosa u otras maderas duras. En el interior del mástil se introduce una varilla de acero u otro material muy resistente llamada alma. Este elemento tiene como objetivo contrarrestar la tensión de las cuerdas así como posibles curvaturas del mástil debidas a los cambios climáticos.



## Pala

Es el extremo del mástil, también llamado clavijero debido a que es la zona en la que se encuentran las clavijas.

## Diapasón

El diapasón es la superficie de ejecución de la guitarra. En él van colocados los trastes. Puede ser de dos tipos, una tapa de madera dura como ébano, palorrosa o similares o puede formar parte del mástil.

## Clavijas

Son mecanismos situados en la pala que accionados por un tornillo sin fin regulan la tensión de las cuerdas. Sirven para realizar la afinación de las cuerdas.

## Cejuela

Es una de las dos partes donde se apoyan las cuerdas de una guitarra. Está situado al principio del mástil y suele ser de hueso, marfil, plástico, acero, etc.

## Trastes

Los trastes son finas tiras de metal habitualmente níquel que están incrustadas en el diapasón. Es una de las partes que más influye en cómo se siente el instrumento al tocarlo.

## Alma

El alma es habitualmente una barra de metal que atraviesa el mástil longitudinalmente por su interior. Su finalidad es contrarrestar la tensión ejercida por las cuerdas.

## Marcadores de posición

Son marcas en el diapasón que nos facilitan saber en qué traste estamos tocando. Estas marcas suelen ir en los trastes 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17, 19 y 21.

## Pastillas

Son la parte más importante de la guitarra. Este es el componente que transforma la vibración de las cuerdas en señales eléctricas. Están formadas por un imán permanente rodeadas por un bobinado de alambre de cobre. Cuando un cuerpo metálico ferromagnético se mueve dentro del campo magnético del imán permanente se provoca una corriente inducida en el bobinado proporcional a la amplitud de movimiento y de frecuencia igual a la de la oscilación del cuerpo. Las pastillas electromagnéticas se encuentran en diversas formas, siendo las más habituales dos: single coil con un solo núcleo magnético y humbucker con dos núcleos magnéticos y doble bobinado para eliminar ruidos.

Las pastillas magnéticas de guitarra o bajo se pueden dividir en dos familias: activas y pasivas. La potencia y timbre que da una pastilla pasiva se crea exclusivamente de la estructura de su imán y su bobina. Por otra parte, en las pastillas activas, la influencia del imán y la bobina es relativamente baja y la mayoría del sonido se genera en la bobina y parte del preamplificador situado en la pastilla misma. Aunque muchos las consideran "frías", las pastillas activas ofrecen algunas ventajas sobre las pastillas pasivas.

Algunas de las ventajas son su reducido ruido, su baja impedancia que permite el uso de cables muy largos sin pérdida de señal y una mejor interacción entre el instrumento y otros aparatos.

Las pastillas activas y pasivas funcionan con una impedancia totalmente diferente, de modo que requieren potenciómetros de volumen, tono y condensadores de valores distintos. Por lo tanto es imposible mezclarlos en un mismo instrumento sin perjudicar el funcionamiento de una de las dos a no ser que se instalen volumen y tono para cada una de ellas.

Aun en este caso el volumen de la pastilla activa será mucho más fuerte que el de la pasiva.

Hay dos tipos de imanes usados para la construcción de pastillas:

- Imanes de alnico 5 y 2
- Imanes cerámicos

Los imanes de alnico tienden a sonar más cálidos y limpios que los cerámicos, que se usan para conseguir más potencia, brillo y ataque.

En realidad la potencia de una pastilla no depende solo del imán que se utilice para construirla sino que existen otros factores como el tipo, diámetro y longitud del cable usado en la bobina, el tamaño de la bobina, su altura, dimensiones y magnetización del imán, etc.

Si se quiere un sonido tipo "vintage" el imán de alnico es mejor. Se pueden encontrar pastillas para cualquier estilo y gusto construida en este material, ya sean simples o humbucker. Las humbucker cerámicas son buenas para un sonido moderno y agresivo adecuado para la saturación y el uso de tremolo.

Si se busca un sonido clásico y cálido donde el ataque rápido no sea importante las humbucker de alnico son las mejores. Alnico V es generalmente más potente y "vintage" mientras que Alnico II suele asociarse al brillo, menos potencia y sonido más dulce.

Existen dos tipos de pastillas magnéticas:

- Pastillas simples,
- Humbuckers.

Una pastilla simple consiste en varios miles de vueltas de un cable muy fino aislado que envuelven, formando una bobina, un número determinado de imanes.

Entre los factores que más influyen al sonido podemos encontrar:

- La longitud y el diámetro del cable.
- Tipo y potencia del imán.
- Proximidad del cable de la bobina al imán.
- Posición de la pastilla a lo largo de la escala del instrumento.
- Altura y anchura de la bobina.
- Tensión del cable alrededor de la bobina.

Todo lo citado anteriormente afecta fuertemente al sonido de las pastillas y al del instrumento mismo.

El sonido brillante de las pastillas simples proviene principalmente de dos factores: La bobina simple y el hecho que captura una pequeña porción de la vibración de las cuerdas al contrario de las humbuckers que, estando compuestas de dos bobinas adyacentes, capturan una mayor área de vibración de las cuerdas, entregando un contenido armónico más ancho. Las pastillas simples tienden a ser más "ruidosas" ya que actúan como antenas capturando bucles de ruido de 50/60Hz, especialmente provenientes de ordenadores, monitores, televisores y luces de neón cercanas.

Las humbuckers no son más que dos pastillas simples emparejadas de manera que la dirección de la bobina está opuesta entre ellas y la polaridad invertida. Esta estructura, también

conocida como RW/RP (reverse wound/reverse polarity) lo que hace en realidad es cancelar el ruido de la otra y también tiene como resultado una señal más fuerte.

Cablear dos bobinas en serie duplica la inductancia, lo que resulta en un sonido más gordo con agudos atenuados, capaz de saturar el preamplificador de amplificadores modernos o antiguos.

Cablear dos bobinas en paralelo produce un sonido más débil y brillante, más usado en bajos.

Existen básicamente dos tipos de pastilla humbucker: con el clásico diseño de las bobinas en paralelo o en vertical donde se superponen una a otra para mantener la apariencia de la pastilla simple clásica. En este tipo de pastillas la impedancia es ajustada por el fabricante para conseguir un sonido más brillante de lo normal. Esto, unido al hecho de que captura una porción más pequeña de la vibración de la cuerda, permite replicar prácticamente el sonido de una pastilla simple auténtica y "engordar" su sonido.

La forma y el diámetro del imán tienen una fuerte influencia en el modo en que suena una pastilla. Esto se debe a que producirán diferentes tipos de campo magnético y la cuerda reaccionará de modo distinto ante ellos.

En las pastillas Fender la vibración de las cuerdas es capturada por dos pequeños polos en vez de uno solo. Esto ha hecho famoso al JB por su ataque.

En un primer momento, cuando la cuerda es pulsada (ya sea con dedos o con púa) la vibración es más amplia y el sonido se captura más adecuadamente por dos polos separados enfatizando el ataque de la cuerda. Al segundo siguiente, mientras la cuerda decae, el patrón de vibración se reduce y la cuerda termina moviéndose entre los dos polos en vez de hacerlo exactamente sobre ellos, así que el sonido decae más rápidamente.

Las pastillas colocadas demasiado cerca de las cuerdas (especialmente en la posición del mástil, donde la vibración es más amplia) no solo afectan al sustain sino que también causan problemas de afinación. Las pastillas también pueden tener problemas de retroalimentación incontrolable. Esto se debe a que el bobinado de las pastillas se ha ido perdiendo tensión volviéndose microfónico o a veces se debe a la vibración de la pastilla contra la cubierta metálica. Este problema se puede solucionar encerando las pastillas.

La distancia de la pastilla desde el puente y respecto a las cuerdas determinará su volumen, tono y rendimiento en el instrumento:

- Cuanto más próxima esté la pastilla al puente, más contenido en frecuencias altas y armónicos capturará con el resultado de un sonido brillante.

- Cuanto más cerca esté la pastilla al mástil más contenido en armónico fundamentales capturará dando como resultado un sonido más suave y cálido.

- Cuanto más cercana a las cuerdas mayor será el ataque, el volumen y las frecuencias altas. Interferirá más con la vibración de las cuerdas así que habrá menos sustain.

- Las pastillas ajustadas demasiado lejos de las cuerdas tenderán a sonar de modo más suave, menos brillante, con menos ataque y más sustain pero tenderán a sonar "muertas".

- Como las frecuencias altas tienden a decaer rápidamente, las pastillas situadas cercanas al puente parecerá que tengan menos sustain que aquellas colocadas cerca del mástil.

- Cuanto mayor sea la porción de cuerda captada por la pastilla (humbucker) más acentuados tendrá los graves.

- A menor porción de cuerda captada por la pastilla (single coil) más brillante será el sonido.

#### Vibración de las cuerdas

Al pulsar una cuerda empieza a vibrar y la interferencia causada por la vibración en el campo magnético de una pastilla genera un cambio en el flujo de energía pasando a través de la pastilla. Esta energía se transmite de la guitarra al amplificador y posteriormente a los altavoces que emitirán el sonido. Las cuerdas vibran como una onda sinusoidal moviéndose en infinitos patrones llamados armónicos.

El sonido resultante depende de la localización de las pastillas a lo largo del patrón de vibración de la cuerda (Escala). Si tocamos un Mi al aire, la cuerda en sus extremos está firme y tiene la máxima amplitud de vibración justo en el centro de la escala. La nota producida por esa primera vibración es el primer armónico, que es el más fuerte. Los puntos donde la cuerda está firme (cejuela y selletas del puente) se llaman nodos mientras que los puntos donde se alcanza máxima amplitud se llaman antinodos.

El siguiente armónico es el segundo armónico que corresponde a la siguiente octava. Este armónico tiene un nodo en el centro de la cuerda. Los antinodos del segundo armónico están a mitad de camino entre los puntos de anclaje y el centro de la cuerda, es decir a  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la escala.

### Posición o emplazamiento de las pastillas

Para empezar tenemos que considerar que los nodos y antinodos se mueven a lo largo de la escala al tocar las diferentes notas pulsando los trastes. Así que las siguientes consideraciones se refieren a notas al aire: E, A, D, G, B, E para guitarra.

El emplazamiento de las pastillas a lo largo de la escala es sin duda uno de los factores que más influencia tiene en el sonido. Como norma general podemos decir que:

- Cuanto mayor sea la distancia entre pastillas, más variado será el sonido que consigamos con el instrumento.

- Cuanto más cercana este la pastilla al centro de la vibración de las cuerdas, es decir, al traste número 12, más cálido será el sonido que obtendremos y mayor será el volumen en los graves.

- Cuanto más cercana este la pastilla al puente más brillante será el sonido.

Esa es la razón por la que notamos la diferencia al pulsar las cuerdas más cerca del mástil o del puente.

### Estudio de casos prácticos

Estudiando como genios como Leo Fender o Lester Polfus (Les Paul) diseñaron sus instrumentos podemos aprender qué importancia tiene el emplazamiento de las pastillas en nuestro sonido. Lo primero que pensaron ambos fue en montar las pastillas en sus instrumentos lo más alejadas entre sí posible para conseguir sonidos variados y que permitieran tocar las cuerdas con la púa fácilmente. Aunque Fender añadió algunas opciones interesantes. Como planeó usar pastillas simples que capturasen una pequeña porción de la vibración de las cuerdas, decidió inclinar la pastilla del puente poniendo la parte superior más cerca del mástil capturando así más graves en las cuerdas graves adquiriendo un sonido más cálido en esta pastilla. En segundo lugar, tanto en la Telecaster como en la stratocaster que originalmente tenían 21 trastes, decidió colocar una pastilla exactamente bajo el nodo del tercer armónico, donde caería el traste número 24 en las guitarras modernas.

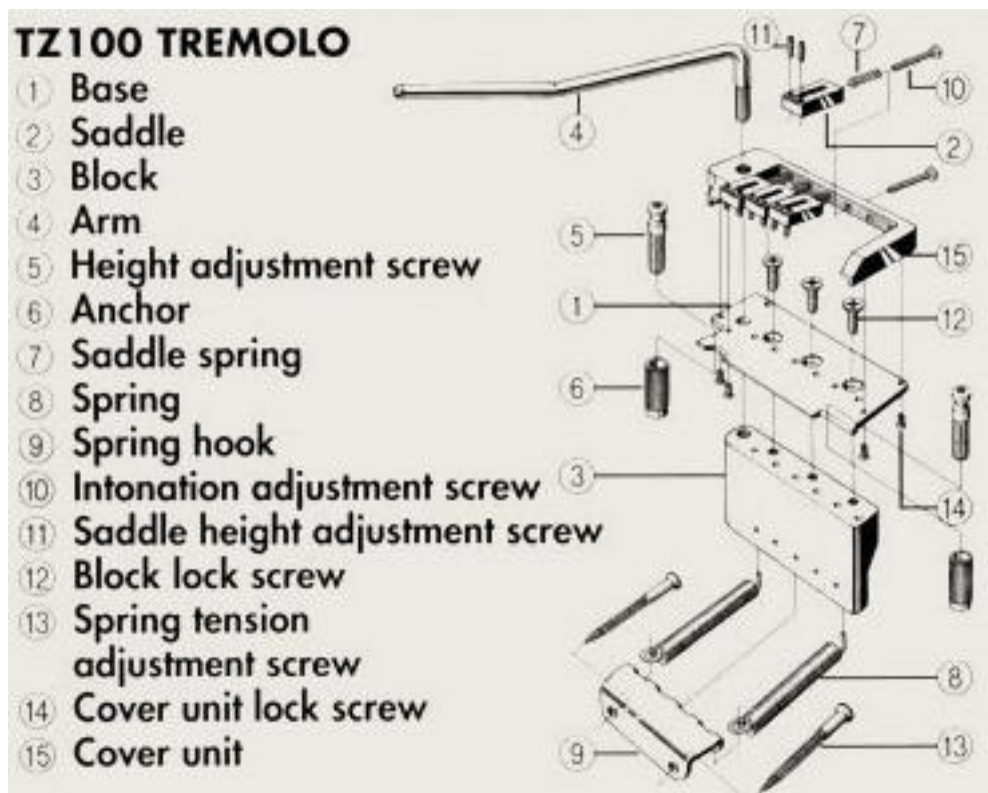
### Controles

Dentro de los controles tenemos los potenciómetros de volumen y tono, el selector de pastillas y el Jack de salida. Los potenciómetros se encargan de variar el volumen y el tono, el selector de pastillas de seleccionar que pastillas activar y el Jack de salida es donde conectamos mediante un cable la guitarra y el amplificador.

## Puente

El puente es el otro lugar en el que se apoyan las cuerdas, concretamente en las selletas. Pueden ser de dos tipos, fijos o móviles. Dentro de estos dos grupos existen varios diseños pero no nos vamos a meter en profundidad en este apartado. Tan solo vamos a definir un tipo de puente móvil que es el que se va a utilizar en esta guitarra.

Los puentes de tremolo tienen el objetivo de poder variar el tono de las cuerdas instantáneamente aumentándolo o disminuyéndolo. Esto es posible gracias a una parte móvil que se mantiene fija por unos muelles situados debajo del puente y sujetos al cuerpo de la guitarra. La manera en la que funciona es simple, la barra del tremolo hace que el puente se mueva tensando o destensando las cuerdas. Los muelles permiten que la guitarra vuelva a su posición original una vez soltada dicha barra. En la siguiente imagen podemos ver como es un puente de tremolo.



*Imagen 2. Partes de un puente de tremolo.*

## Golpeadores

El golpeador protege la madera de nuestras manos o púas y tapa la parte del cuerpo donde van alojados los controles.

Una vez definidos todos los elementos ya tenemos una visión general de cómo es una guitarra eléctrica. Ahora podemos comenzar a diseñar la nuestra. Para ello nos meteremos más de lleno en cada uno de estos elementos y buscaremos las soluciones más prácticas y que funcionen mejor.



## Metodología

A la hora de diseñar una guitarra eléctrica hay que tener en cuenta todas las partes descritas con anterioridad, pero sobre todo hay que centrarse en tres de ellas que son las principales. Estas partes son el cuerpo, el mástil y la pala o clavijero. Como regla básica hay que pensar que la guitarra está hecha para que la toque un ser humano por lo que hay que guardar una proporción de medidas entre este y la guitarra.

Tras medir muchas guitarras se ha llegado a la conclusión de que los cuerpos encajan en un rectángulo de 45x60 cm. Los mástiles dependiendo de su escala, la cual es muy importante y la definiremos a continuación, suelen tener entre 40 y 55 cm de largo y la pala encaja en un rectángulo de 10x20 cm. («Fundamentos del diseño de la guitarra eléctrica», s. f.)



*Imagen 3. Rectángulos en los cuales encaja cada parte de la guitarra. Fuente*

Obviamente hay excepciones a esta regla pero por lo general son estas las medidas que adoptan los diferentes fabricantes de guitarras eléctricas.

La metodología a seguir para el diseño de nuestra guitarra eléctrica será la de definir unas restricciones y tratar por separado cada una de las tres partes fundamentales fijándonos en los factores que intervienen en cada una de ellas.

## Restricciones

Las restricciones a la hora de diseñar una guitarra eléctrica son dos, la longitud de escala y el tipo de construcción las cuales definiremos a continuación.

### Longitud de escala

Cuando se refiere a los instrumentos de cuerda la longitud de escala se considera que es la longitud máxima de vibración de las cuerdas para producir sonido. Determina la gama de tonos que es capaz de producir una cuerda bajo una tensión dada. A menudo se llama simplemente “Escala”.

Los instrumentos de cuerda producen sonido por la vibración de sus cuerdas. La gama de tonos que las cuerdas pueden producir está determinada por tres factores principales, la masa de la cuerda, la tensión y la longitud de escala del instrumento.

En muchos instrumentos todas las cuerdas son aproximadamente de la misma longitud por lo que la escala del instrumento se expresa como una sola medición de longitud. Este es el caso por ejemplo de la guitarra o el violín. En otros instrumentos las cuerdas son de diferentes longitudes, por ejemplo el piano o el arpa.

En la mayoría de los instrumentos modernos con trastes la longitud de cuerda real es un poco más larga que la longitud de escala. Esto es para compensar de alguna manera el efecto causado al presionar las cuerdas contra el diapasón. Otro factor a tener en cuenta en el diseño de instrumentos modernos es que a una misma tensión las cuerdas más gruesas son más sensibles a este efecto. Por este motivo los puentes en guitarras acústicas y a menudo en guitarras eléctricas se establecen en una ligera diagonal. Esto hace que las cuerdas más gruesas sean ligeramente más largas.

En una guitarra la longitud de escala es la longitud comprendida entre el punto de contacto de las cuerdas en las selletas del puente y la cejilla (nut). Esta medida es muy importante ya que determina la posición de los trastes. Esta directamente ligado a la entonación o quintado de las cuerdas. («La escala de la guitarra», s. f.)

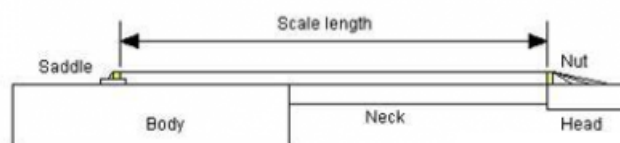


Imagen 4. Longitud de escala

Para posicionar los trastes, hay que dividir la escala por  $\sqrt[12]{2}$  aproximadamente 1,059463094 y el resultado nos da la posición del primer traste. Si volvemos a dividir el cociente por el mismo factor localizamos el siguiente semitono (segundo traste) y así sucesivamente. Estas medidas están referidas desde el puente. ([Anexo 1](#))

En una guitarra eléctrica la longitud de escala afecta tanto a su jugabilidad como a su tono. Una longitud de escala más corta permite la digitación más compacta y favorece a dedos más cortos. Una escala más larga permite tener los dedos más expandidos y favorece a dedos más largos. Con respecto al tono, una escala más larga como puede ser la escala utilizada por Fender en sus guitarras que es 25.5" favorece el "brillo" o matices limpios y armónicos más separados. Una escala más corta, por ejemplo la utilizada por Gibson en sus guitarras que es 24.75" favorece la "calidez".

De acuerdo con el "Tone Manual" de Dave Hunter cada longitud de escala tiene su sonido y tono característico que es independiente de otros sonidos en la cadena de tono: cuerdas, pastillas, pedales, amplificadores y altavoces. Traducido de («Scale length (string instruments)», 2016)

Analizando las diferentes longitudes de escala se ha decidido utilizar una escala de 24,75" ya que de esta manera tenemos los trastes más juntos y la tensión requerida por las cuerdas es menor haciendo que se sienta más blanda al tocar. Aunque este tipo de escala tiene menos sostenido de notas (sustain), las notas se pueden alargar mediante bendings o vibratos así como poniendo cuerdas de mayor calibre.

### Tipo de construcción

La parte más importante de cualquier guitarra eléctrica para la resonancia y el tono es el mástil, ya que transmite las vibraciones de las cuerdas desde la cejuela hasta el puente. Por ello es muy importante también la unión de este al cuerpo, pudiendo ser atornillada (bolt-on neck), encolada (set-in neck) o a través del cuerpo (neck-through). A continuación vamos a definir cada uno de ellos:

#### *Bolt-on Neck*

Este tipo de unión se desarrolló en los años 50 y ganó popularidad gracias a Leo Fender que lo usó por su facilidad y flexibilidad a la hora de la producción en masa. Se hace mediante tornillos que pueden ser directamente atornillados a la madera o a una rosca. Los tornillos van apoyados en una placa especial nivelada con la madera.

La ventaja de este tipo de unión es que si por alguna razón el mástil se dañase, sería fácil reemplazarlo. También hay más espacio para ajustes, cosa que no nos permite el set-in neck. Otra ventaja es que es mucho más fácil de construir que un set-in neck o un neck-through.

En lo que respecta al sonido, permite que el cuerpo pueda ser construido de una única pieza de madera, por lo que si el mástil está bien combinado a la resonancia del cuerpo puede suponer una mejora en el sonido. Para que la transmisión de vibraciones del mástil al cuerpo sea perfecta, ambos deben encajar perfectamente en la junta de unión. Esto hará que el sonido se parezca mucho al de una unión encolada (set-in), mejorando mucho el sonido. («Mástil atornillado», s. f.)



*Imagen 5. Unión bolt-on neck*

### *Set-in neck*

Este tipo de unión tiene el mástil encolado al cuerpo. Es típico de guitarras acústicas pero también se ve en guitarras eléctricas como la Les Paul de Gibson. Garantiza una unión perfecta del mástil al cuerpo, una transmisión del tono uniforme y permite construir un cuerpo sólido de una sola pieza, lo que fomenta el sustain y la definición. Tiene la desventaja de que si se daña el mástil el proceso de reparación es más complejo. Requiere de un proceso largo y complicado de desencolado en el que se deben quitar algunos trastes y ablandar la cola inyectando vapor.

El sonido está en una posición intermedia entre la unión atornillada (de la cual comparte volumen y calidez) y la unión neck-through (con la que comparte definición y sustain). («Mástil encolado (set neck)», s. f.)



*Imagen 6. Mástil encolado*

### *Neck-through*

El mástil es una extensión del cuerpo debido a que atraviesa el cuerpo de la guitarra. Al atravesar el cuerpo; las pastillas, cuerdas, trastes, y puente están montadas sobre la pieza de madera del mástil. Este tipo de unión es mucho más elaborada y costosa que las otras dos y es por esto que se da en pocas guitarras. En cuanto al sonido, ofrece una mejor resonancia y sustain que los otros dos tipos de uniones. Tiene la desventaja de que en caso de rotura del mástil, su reparación es muy complicada.



*Imagen 7 Guitarra Neck-through*

Para nuestra guitarra se ha considerado utilizar una unión bolt-in principalmente debido a que es la más fácil de construir así como de reparar y ajustar. En lugar de la unión atornillada convencional de 4 tornillos apoyados en una chapa se ha decidido utilizar dos tornillos de cabeza Allen y métrica 6 con casquillos empotrados en el cuerpo e insertos roscados para madera en la base del mástil. Mediante este sistema conseguimos una unión muy fuerte. A su vez nos permite montar y desmontar el mástil tantas veces como queramos sin dañar de ninguna manera la madera.



*Imagen 8. Elementos para realizar la unión atornillada del mástil y el cuerpo.*

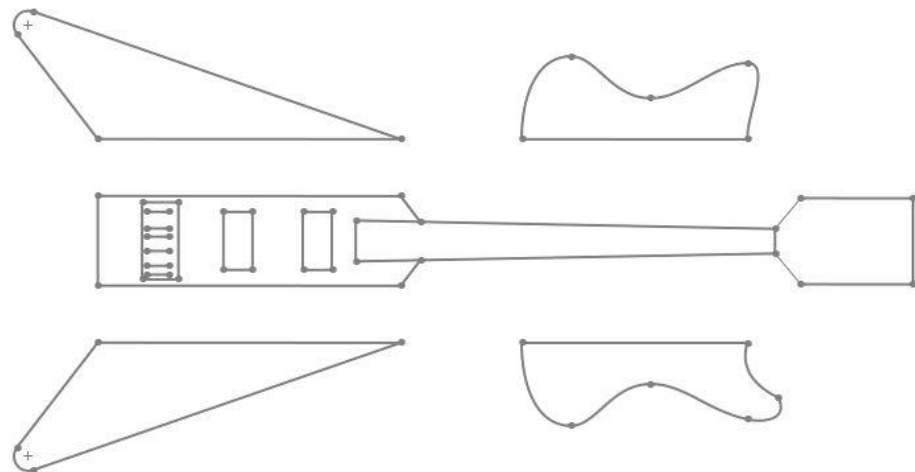
En esta imagen se puede ver de izquierda a derecha el casquillo para empotrar en la madera, el inserto roscado para madera y el tornillo de cabeza Allen. Mediante el casquillo lo que conseguimos es que la cabeza del tornillo no sobresalga del cuerpo quedando así enrasada con la madera.

## Diseño del Cuerpo

A la hora de diseñar el cuerpo hay que tener muchos factores en cuenta a parte de la longitud de escala y el tipo de construcción. Estos factores son el grosor, el contorno, el tipo de puente, los rebajes, posición de las pastillas y el material.

Como la idea de este TFG es la de realizar una guitarra eléctrica modular, es decir una guitarra a la cual se le puedan acoplar y desacoplar diferentes módulos para completar el contorno de la guitarra, el diseño del cuerpo es una de las partes más importantes del trabajo. Para el proceso de diseño se tendrán en cuenta parámetros como la ergonomía, las conexiones eléctricas necesarias y todos los procesos relacionados con el sistema de anclaje.

La idea principal es la siguiente:



*Imagen 9. Idea inicial*

Como se puede ver en la imagen la idea es la de realizar un cuerpo central al cual se le podrán acoplar diferentes módulos para conseguir diferentes contornos por lo que hay que buscar una solución para conseguir transmitir la señal de las pastillas a la zona de los controles y para unir los módulos al cuerpo.

Para el diseño del cuerpo central hay que tener en cuenta que en él irán las pastillas el puente y la cajera para la unión de este al mástil. Por ello hay que tener muy claro el tipo de puente y la cantidad de pastillas que se van a colocar. Debido a que se va a utilizar la escala corta de Gibson se ha decidido que lo mejor opción es utilizar dos pastillas dobles, teniendo este tipo de pastillas la ventaja de la reducción de ruido respecto a las pastillas simples. El puente va a ser de tremolo puesto que permite más versatilidad que uno fijo aunque este nos limite el grosor de la

guitarra. Hay que tener en cuenta que para este tipo de puentes el cuerpo debe tener una caja en la parte trasera para alojar los diferentes elementos del puente.

Una vez se tiene claro esto se puede empezar a diseñar el cuerpo central. Para ello lo primero de todo es colocar el puente y colocar la longitud de escala hacia la derecha para saber de cuanto espacio disponemos.



*Imagen 10. Inicio y final de la escala.*

Posteriormente calcularemos la distancia que debe tener el mástil. Para ello sabiendo la cantidad de trastes que vamos a colocar y la longitud de escala se ha realizado una tabla de Excel ([Anexo1](#)) para calcular la distancia a la que se colocaran los trastes. A la distancia a la que se encuentre el ultimo traste de la cejuela se le sumaran 10 mm y tendremos la longitud del mástil. Esta distancia es 462.41mm.



*Imagen 11. Posición del final del mástil.*

El hueco comprendido entre el puente y el final del mástil es donde irán situadas las pastillas. Para que el mástil pueda ser atornillado al cuerpo, el mástil debe internarse en el cuerpo, por lo que el final del cuerpo estará a la derecha del final del mástil. Como hemos visto anteriormente la mayoría de los cuerpos de guitarras encajan en un rectángulo de 500x350 mm por lo que ya podríamos colocar el principio y el final de cuerpo.





Imagen 12. Inicio y final del cuerpo

Para esta guitarra se ha decidido que la longitud del cuerpo sea de 400 mm puesto que tras probar varias guitarras se ha considerado la más cómoda a la hora de tocar.

Ahora ya sabemos la posición de cada uno de los elementos en el eje longitudinal. Para acabar de formar nuestro cuerpo central tenemos que definir la anchura. Para ello se han buscado las dimensiones de las pastillas y puentes comerciales. Una vez hecho esto se ha decidido dejar un margen con respecto a esas dimensiones y finalmente se ha decidido que la anchura del cuerpo central sea de 130 mm.

Una vez tenemos estas dimensiones podemos pasar al software de 3D, en este caso Solidworks y dibujar el cuerpo central.

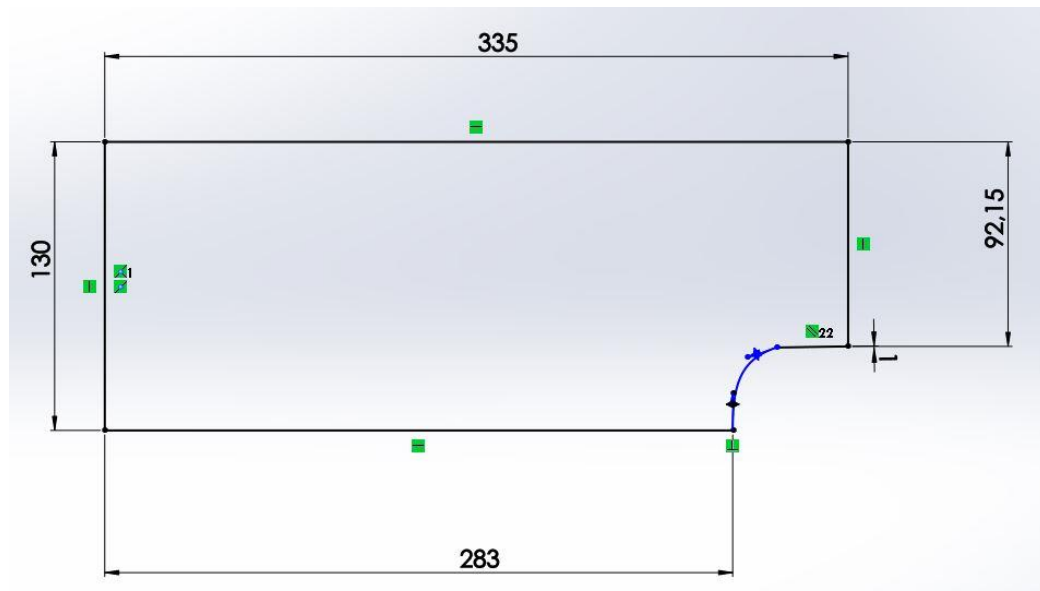


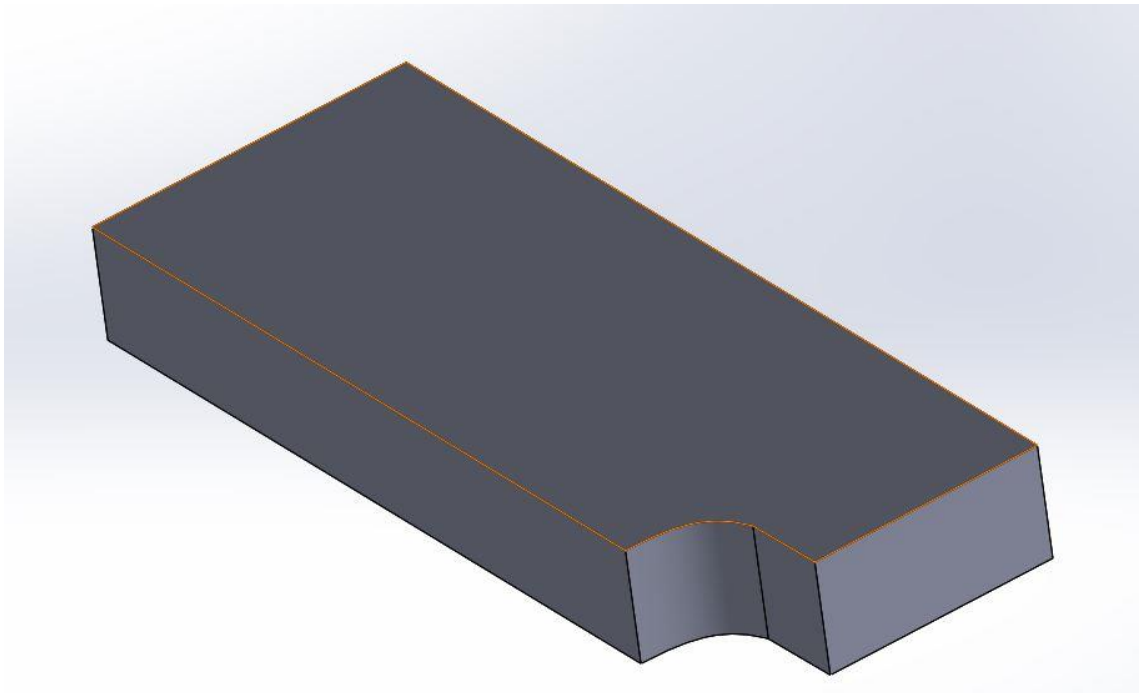
Imagen 13. Boceto del cuerpo Central.

Otra cosa a tener en cuenta es que como el mástil se interna en el cuerpo hay que dejar un hueco para facilitar tocar en los últimos trastes. Como podemos observar en la imagen se ha

realizado una curvatura en la parte inferior derecha del cuerpo central. Esta curvatura va ajustada con la cajera en la que insertamos el mástil a la hora de su unión con el cuerpo.

### Grosor

Una vez tenemos el contorno del cuerpo central hay que saber que grosor se le va a dar a la guitarra. Como se ha decidido utilizar puente de tremolo el grosor tiene que ser de mínimo 44 mm. Esto es debido a que los bloques de los puentes de tremolo están diseñados para un mínimo de dicho grosor. De lo contrario el bloque saldría por la parte trasera del cuerpo. Esto no es del todo un inconveniente puesto que a más grosor la guitarra tiene más cuerpo y suena mejor ya que cuanto más denso y rígido es el material (sobre todo en el mástil) menor vibración de las cuerdas es absorbida por él y el pico de resonancia de la madera está más por encima del pico de resonancia de las cuerdas. De esta forma se permite que las cuerdas vibren libremente sin interferencias traduciéndose en una vibración de las cuerdas más larga (sustain).



*Imagen 14. Extrusión del cuerpo central.*

## Contorno

El contorno, la parte que le da la estética a la guitarra, es en lo primero que nos fijamos al ver una guitarra por lo que tiene mucha importancia. Por lo general existen 6 grupos de contornos dependiendo de su orientación.



*Imagen 15. Líneas que indican la orientación de la guitarra*

En la imagen se ven unas líneas rojas que nos indican la orientación de la guitarra. Nuestro cerebro se aferra a estas líneas invisibles para identificar las formas rápidamente. Hay más diseños que los mostrados en esta figura pero estos son los más representativos.

La mayoría de los diseños caben en los tres primeros grupos debido a su simetría a través de su eje central. Para entender por qué estos diseños son los más extendidos tenemos que saber cómo observan nuestros ojos los cuerpos de las guitarras. Al mirar el cuerpo nuestros ojos pasan por varios pequeños rituales que ayudan al cerebro a almacenar y reconocer estas figuras. El cerebro trata de entender la forma general asignándole unas características con bastante rapidez,

si es suave o no, si tiene ángulos, si visualmente es ligera o pesada, agradable o molesta, equilibrada o irregular.

El ojo inconscientemente explora la imagen y registra varias figuras buscando un orden. Si las figuras son muy pequeñas y numerosas, lo más probable es que adopte el orden de izquierda a derecha y de arriba abajo. En una lectura exploratoria rápida los ojos tienden a recorrer todo el perímetro del cuerpo en una especie de circuito en forma de pez. En la siguiente imagen podemos observar como es el recorrido que siguen los ojos.

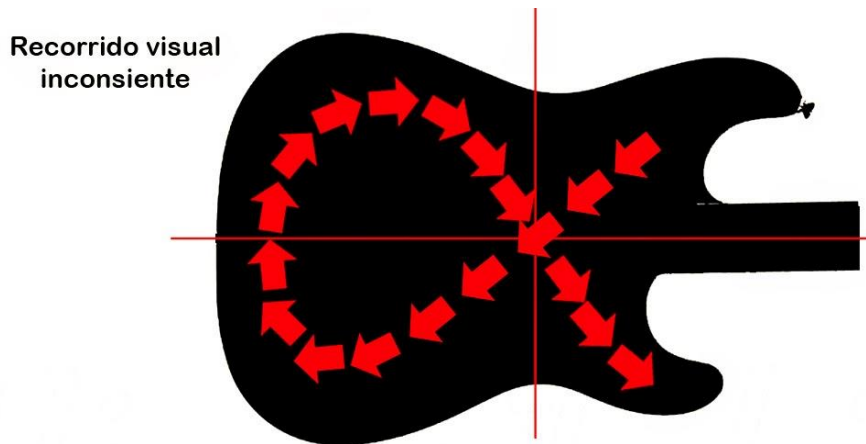


Imagen 16. Recorrido de los ojos

Aunque el contorno no sea la parte principal de este TFG se ha decidido diseñar uno para darle un toque personal a la guitarra. No obstante como hemos dicho antes nuestra guitarra podrá adoptar diferentes formas mediante módulos a elección del usuario.

Para el diseño del contorno se va a recurrir a un truco bastante sencillo que es el siguiente. El truco consiste en dibujar las barras de equilibrio max/min para que la guitarra quede visualmente equilibrada.

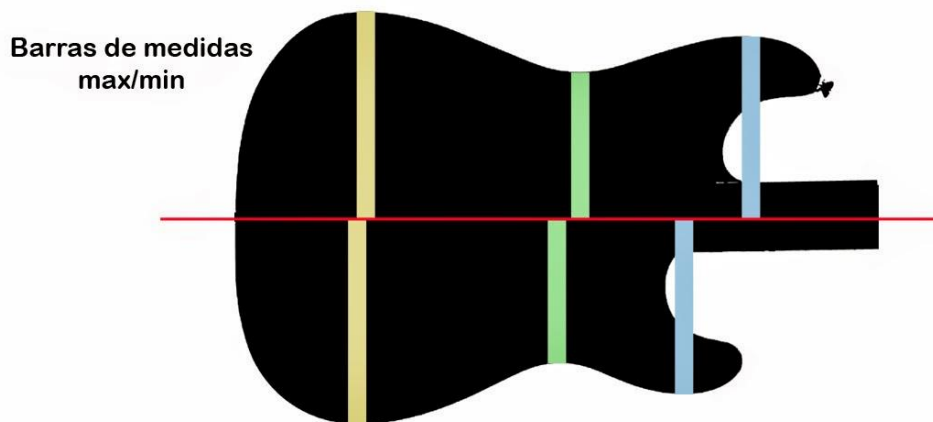


Imagen 17. Barras de equilibrio

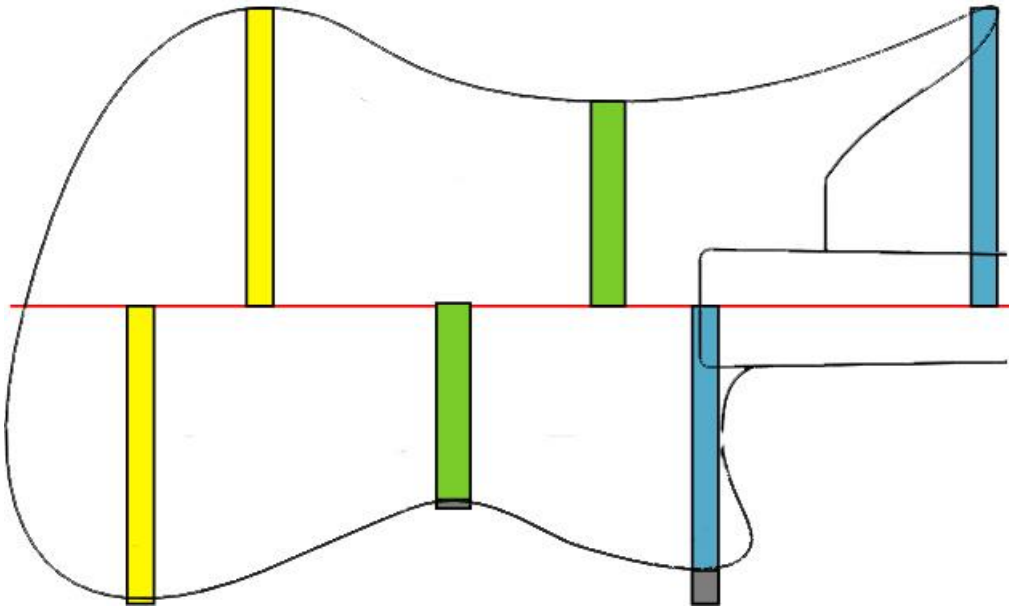
No siempre se mantiene este equilibrio pero es una forma de que el cuerpo tenga una armonía visual. A continuación podemos ver diferentes cuerpos de guitarras con sus respectivas barras de equilibrio.



*Imagen 18. Barras de equilibrio de diferentes guitarras*

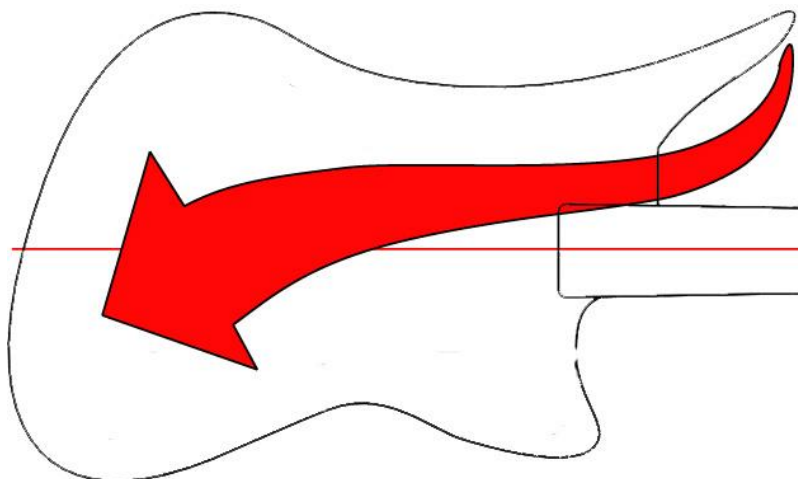
En esta imagen podemos ver que estas medidas se respetan bastante pero que hay modelos en los que alguna de ellas no.

Para el diseño del contorno se miraron multitud de guitarras para ver cuáles eran las formas más comunes y las que más gustaban a la gente. Después de este ejercicio de búsqueda se dibujaron varios bocetos. Tras decenas de propuestas se decidió elegir la siguiente.



*Imagen 19. Contorno con barras de equilibrio*

Como se ve en la imagen las barras de equilibrio son bastante iguales. Si nos fijamos en la orientación de este contorno vemos que está dentro del grupo de inclinada hacia delante. Otro factor a tener en cuenta a la hora del diseño de un cuerpo es el del flujo de dirección. Este flujo es bastante difícil de juzgar ya que hay guitarras en los que no se aprecia o directamente no lo tienen. Este factor es algo que a mí personalmente me gusta mucho por lo que en este diseño predomina por encima de las barras de equilibrio.



*Imagen 20. Flujo de dirección*



## Rebajes

Esto tiene que ver con la ergonomía. Los rebajes hacen que la guitarra sea más cómoda a la hora de tocar. En general las guitarras tienen dos rebajes. Uno de ellos está en la parte trasera de la guitarra para favorecer el apoyo de la guitarra en el cuerpo del guitarrista y el otro en la parte delantera para favorecer el apoyo del brazo derecho a la hora de tocar. A continuación vamos a ver algún ejemplo de cómo son estos rebajes.



*Imagen 21. Rebaje para el brazo*



*Imagen 22. Rebaje para el brazo de una Gibson SG*

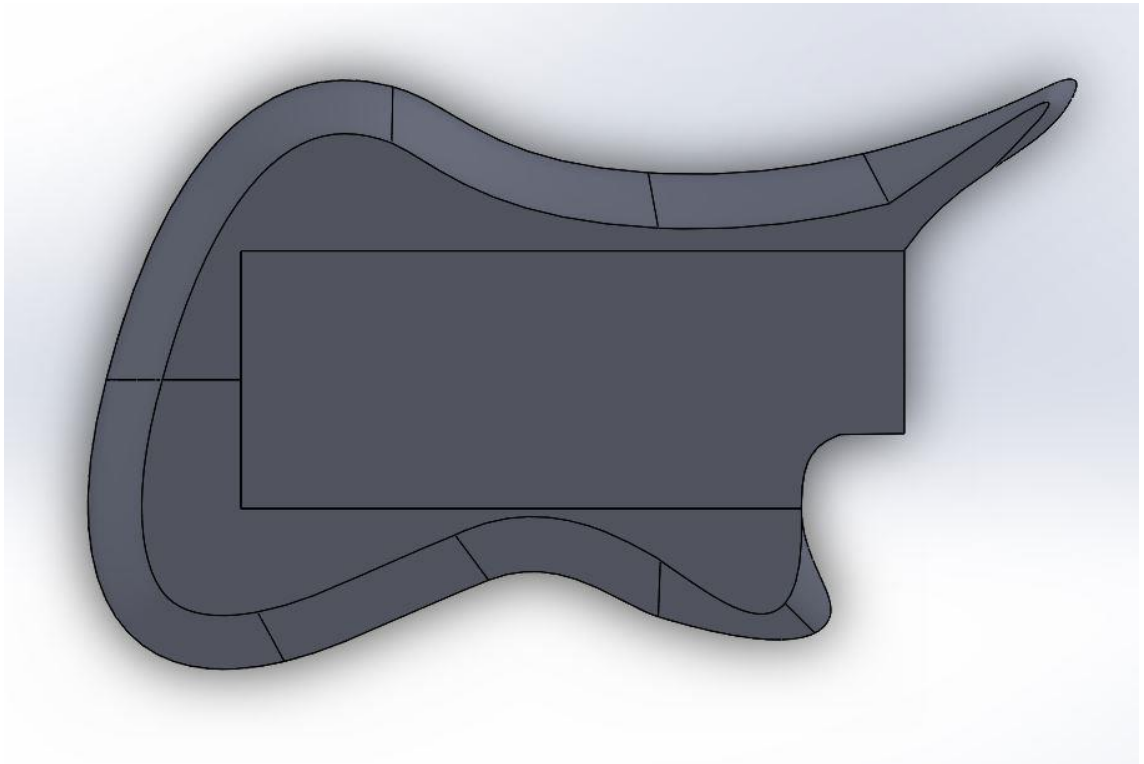


*Imagen 23. Rebaje de una Yamaha AES 620*



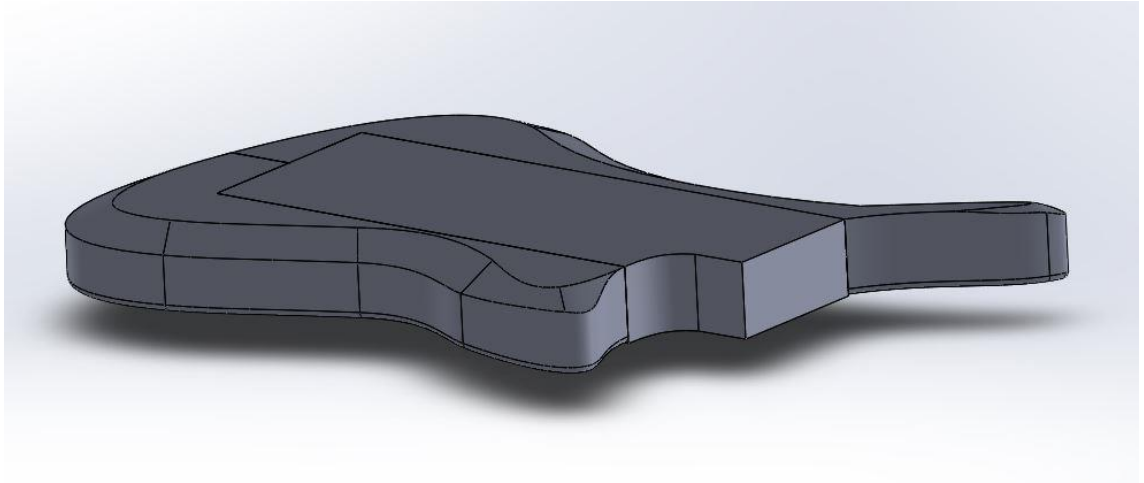
*Imagen 24. Rebaje trasero*

Como vemos existen muchos tipos de rebajes todos ellos igual de efectivos. Para nuestra guitarra se ha considerado hacer un rebaje similar al de la Yamaha AES 620, que aparte de ser muy efectivo visualmente es muy estético.



*Imagen 25. Rebaje.*

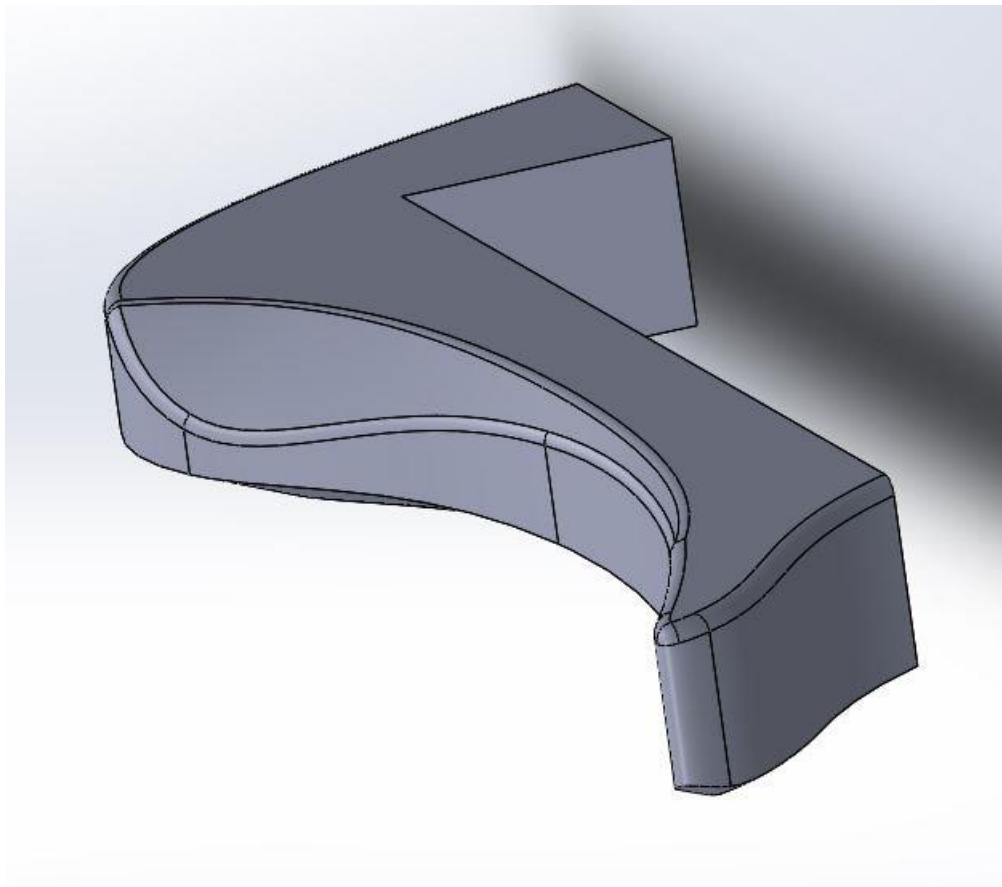




*Imagen 26. Rebaje.*

En estas dos imágenes vemos como ha quedado el rebaje realizado para nuestra guitarra.

Como se ha dicho las guitarras eléctricas tienen dos rebajes por lo que también se ha realizado el rebaje trasero el cual no varía mucho de unas guitarras a otras.



*Imagen 27. Rebaje trasero.*

## Sistema de anclaje

Una vez tenemos el cuerpo central y el contorno hay que buscar una solución para unirlos de forma que sea sencillo su montaje y desmontaje. La solución que se ha decidido usar es la de los sistemas de ensamble excéntricos.

El sistema de ensamble excéntrico, consta principalmente de dos piezas, una caja excéntrica y un perno o clavija. La caja, es de tamaño pequeño, como una moneda. En ella, debe fijarse el perno cilíndrico al centro de la caja, realizando un giro. Para realizar la instalación de las cajas del sistema excéntrico, no se requieren herramientas especiales ni la ayuda adicional de un profesional, incluso, la inserción del perno se puede hacer solo con la presión de la mano. Este sistema puede ser permanente o extraíble. A pesar de ser tan sencillo el sistema excéntrico ofrece un ensamble perfecto, proporcionando una estabilidad igual o incluso superior a los sistemas de leva y pasador. («MINIFIX, El sistema de ensamble que necesitas», s. f.)

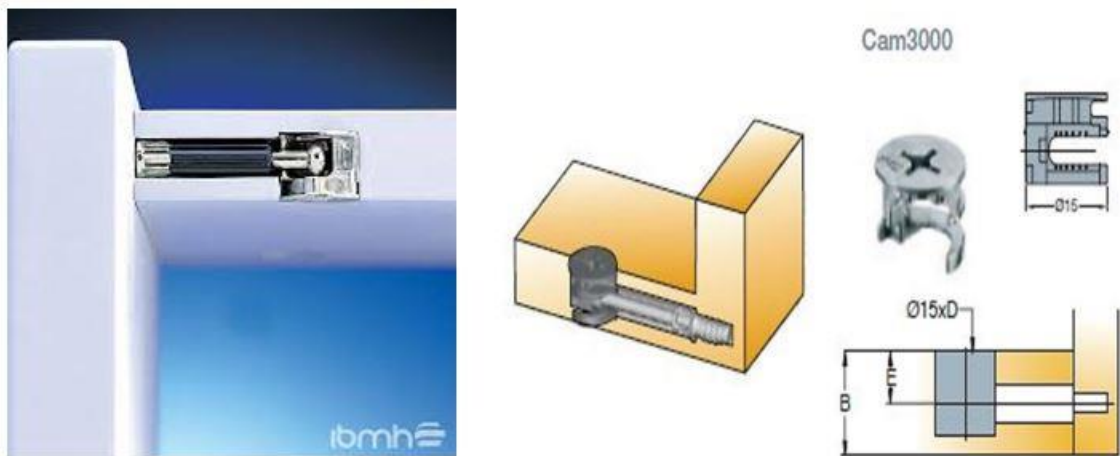


Imagen 28. Unión Excéntrica

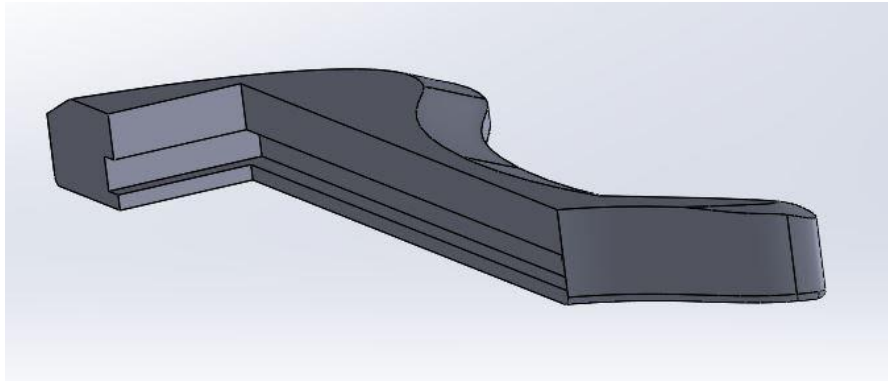


Imagen 30. Perno

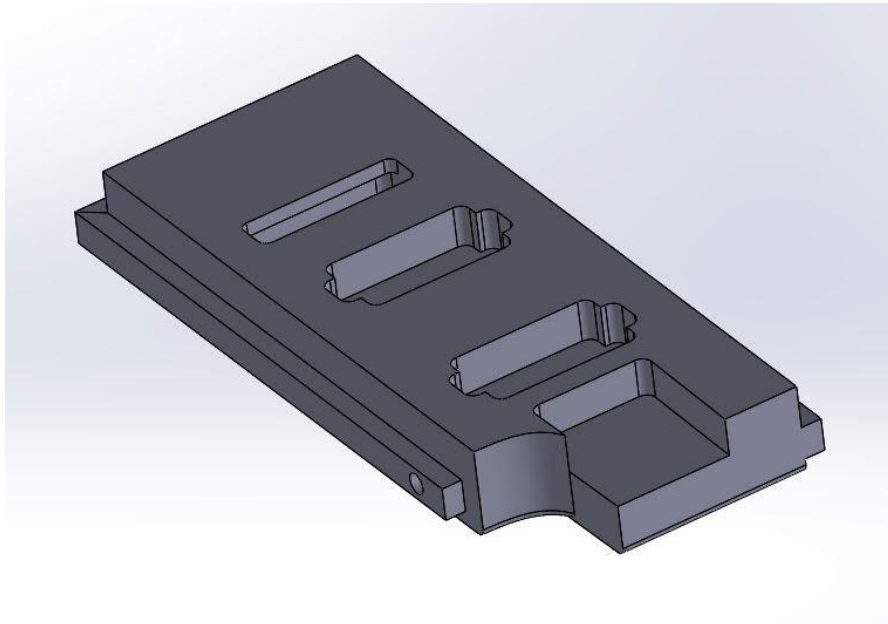


Imagen 29. Excéntrico

Esta unión mantiene las partes unidas pero no evita que los módulos puedan balancearse. Por ello se ha decidido combinarlo con un canal. A los módulos se les realizara un canal y al cuerpo central un saliente para evitar dichos balanceos.



*Imagen 31. Canal para la unión.*

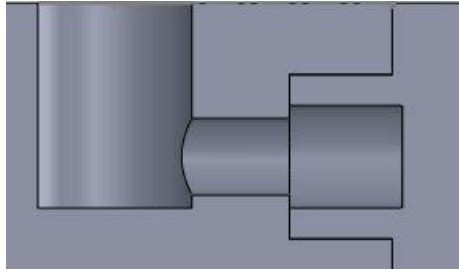


*Imagen 32. Saliente para la unión.*

La combinación de ambas constituye una unión bastante rígida y permite su montaje y desmontaje rápido. Para ver si esto era viable se realizó una prueba con dos trozos de madera y se vio que el resultado es una unión muy válida.

Para unir la guitarra se ha decidido utilizar tres uniones excéntricas, una para unir cada uno de los módulos al cuerpo central y otra para unir los módulos entre sí.

A continuación se muestra un detalle de la unión.



*Imagen 33. Detalle de unión*

En esta imagen podemos ver como son los huecos necesarios para la colocación de este tipo de unión. En la parte derecha que es el núcleo central ira atornillado el perno y en el hueco perpendicular que tenemos a la izquierda ira el excéntrico.

## Diseño del Mástil

El diseño del mástil depende de varios factores. Estos factores son la longitud de escala, la unión con el cuerpo, la forma de su sección o perfil, diapasón, trastes, material, alma y cejuela.

### Longitud de escala

Dependiendo de la longitud de escala el mástil será más corto o más largo. Una escala más larga implica un mástil más largo y deberá soportar más tensión. Dependiendo del tipo de escala podemos tener mástiles con más o menos trastes. Desde 20 o 22 trastes en escalas de 24,75" y 22 o 24 trastes en guitarras con escalas de 25.5".

La longitud de escala nos limita la distancia del diapasón y por ello la distancia entre trastes, siendo más corta en guitarras de escala corta y más largas en guitarras de escala larga.

Como hemos dicho se ha decidido utilizar una escala de 24,75" por lo que el mástil soportara menos tensión y será más corto. Esto hace que la distancia entre trastes sea más corta y facilite a la gente con manos pequeñas, como yo, tocar.

### Unión con el cuerpo

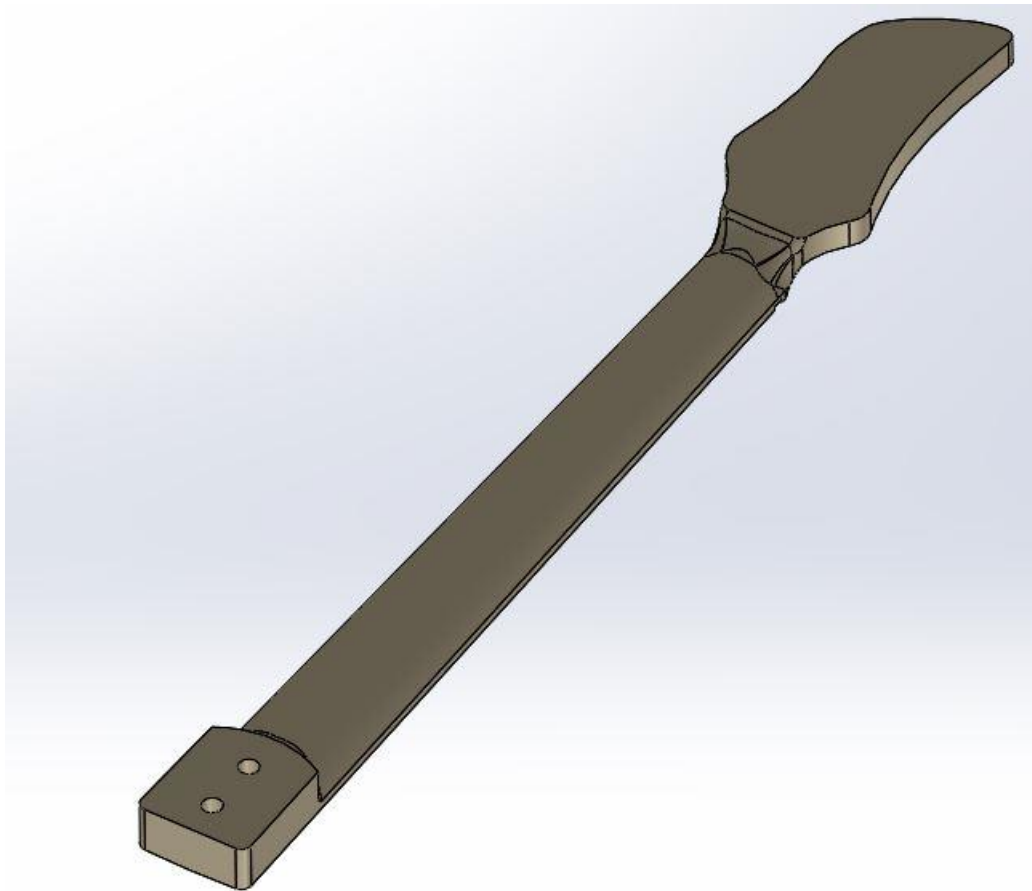
Dependiendo de qué tipo de construcción se vaya a utilizar la parte en la que el mástil se une al cuerpo tendrá una forma u otra. Como hemos comentado antes, existen 3 tipos de uniones de las cuales por facilidad de construcción, reparación y ajuste se ha decidido utilizar la unión atornillada.



*Imagen 34. Mástil atornillado.*

Como se puede observar en la imagen la zona en la que el mástil se une al cuerpo tenemos un rectángulo. Esto favorece el contacto del mástil con el cuerpo transmitiendo mejor las vibraciones.

Para la unión del mástil al cuerpo se ha decidido usar dos tornillos de cabeza allen y metrica 6 con un casquillo embutido en la parte trasera del cuerpo y un inserto roscado en el mástil. Esto nos da una unión muy fuerte y resistente. El utilizar un inserto roscado nos permite que el tornillo en lugar de estar roscado directamente a la madera este roscado al inserto. De esta manera se podrá montar y desmontar el mástil tantas veces como se desee sin dañar la madera.



*Imagen 35. Zona de unión del mástil.*

En esta imagen se puede ver la forma que tiene nuestra zona de unión mástil cuerpo. Los dos agujeros que se ven son para los insertos donde irán roscados los tornillos.

#### Forma de la sección o perfil del mástil

El perfil del mástil determina como se va a notar el mástil en la mano. En este caso nos interesa el grosor y la forma. El perfil condiciona el “feeling” con la guitarra. Un mástil fino resulta más como a la hora de ejecutar digitaciones mientras que un mástil más grueso aparte de aportar más sustain favorece a la hora de armar acordes. Dentro de los tipos de perfiles tenemos

muchos diferentes. Tenemos perfiles en U, V, D, C y asimétricos, cada uno con sus variantes. El nombre viene definido por la similitud del perfil a dichas letras. En la siguiente imagen podemos comparar diferentes tipos de perfiles.

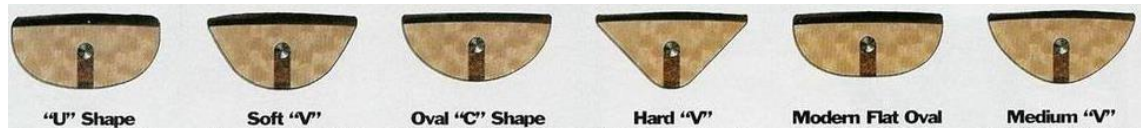


Imagen 36. Diferentes tipos de perfiles

El tipo de perfil moderno más común es el perfil en C. Es un perfil ovalado muy cómodo que funciona bien para muchos tipos de estilos. Normalmente no es tan profundo como lo pueden ser los perfiles en U o V. El perfil en D es grueso y redondeado con grandes hombros. Este tipo de perfil es bueno para personas con manos grandes y para personas que se encuentran más cómodas tocando con el pulgar en la parte trasera o en un lado del mástil. De los perfiles en V hay dos versiones, una más redondeada y la otra más acentuada. Este tipo de perfil es bueno para personas que se sienten más cómodas tocando con el pulgar sobre el borde del diapasón.

Para el diseño de nuestro mástil se ha decidido usar el perfil en C puesto que tras probar varias guitarras se vio que era el más cómodo para tocar así como el más versátil.

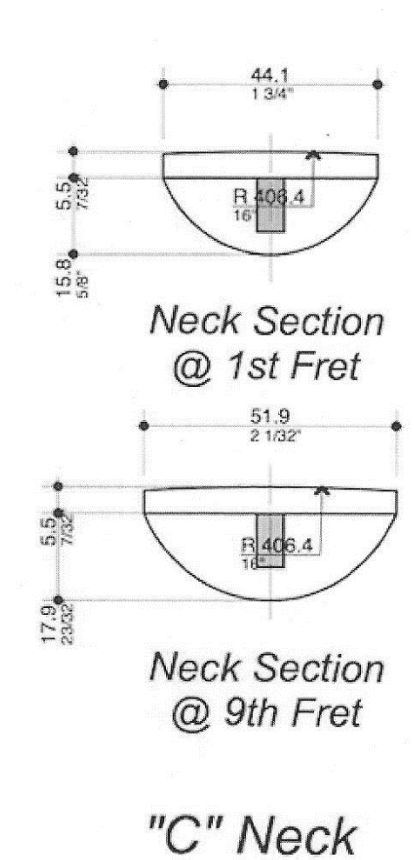


Imagen 37. Sección en forma de C

## Diapasón

El diapasón es la parte de la guitarra que sujeta los trastes y proporciona la superficie de ejecución del instrumento. Esta hecho de una madera duradera – típicamente palisandro, palorrosa o ébano- y no lleva acabado. Estas maderas cada vez se usan menos ya que son difíciles de conseguir puesto que están protegidas. Otra opción es utilizar madera de arce, a la cual sí que hay que aplicarle un acabado para evitar que se ensucie. Con la preferencia típicamente moderna por los trastes de calibre más alto, el material del diapasón establece poca diferencia en el tacto a la hora de tocar. El arce tiene un timbre brillante que contrasta con el timbre más cálido y suave del palisandro. El ébano que es la más dura y suave para esta labor, crea un sonido brillante con mucha definición.

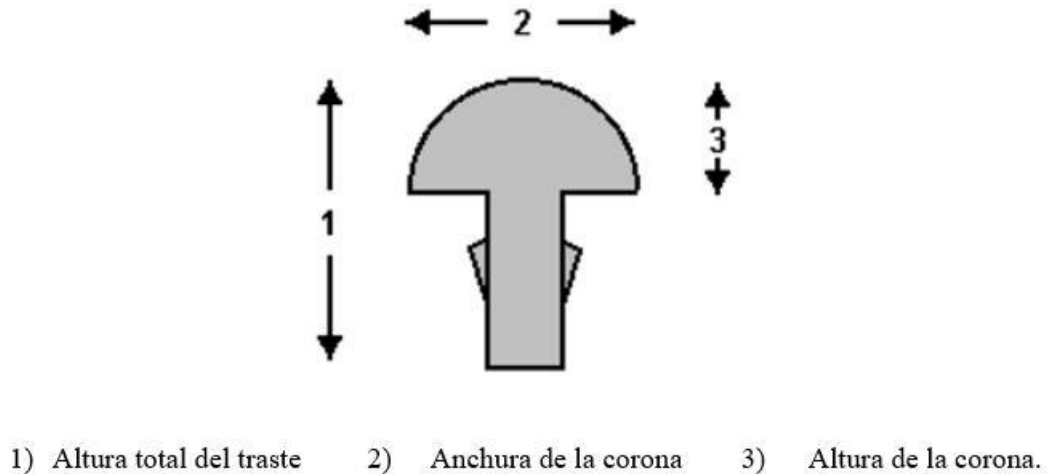
Es muy importante para el intérprete el ligero radio del diapasón. Combinado con el tamaño de los trastes y el ajuste general, el radio del diapasón es lo que más contribuye a los diferentes tactos de los diapasones. Los radios más pequeños tienen un tacto magnifico para tocar acordes cómodamente, pero, a la hora de hacer bendings en los trastes altos, la cuerda en la que lo hacemos choca contra un traste más alto. Los radios de 241 a 305mm se adaptan casi a cualquier estilo de interpretación llevando trastes altos pero no demasiados anchos y perfiles de sección transversal más ancha. También hay diapasones planos, los cuales favorecen la velocidad a la hora de tocar. En realidad serán los trastes más que el diapasón los que proporcionan la auténtica superficie de ejecución.

A nuestro diapasón se le ha dado un radio de 16” el cual es casi plano. Este radio nos permite adaptarnos a diferentes estilos y favorece los bendings y vibratos. Con este radio conseguimos un diapasón casi plano lo que favorece también la velocidad.

## Trastes

Un traste se puede describir como una "corona", que es la parte visible sobre el diapasón, y otra parte que es la que se incrusta en la madera.





*Imagen 38. Sección de un traste*

Aunque se diga que están hechos de "níquel/plata" o se refiera a ellos como plata alemana en realidad no contienen plata en absoluto y están fabricados con latón y un pequeñísimo porcentaje de níquel que le da el color plateado.

Para la instalación los trastes deben ser encolados en las ranuras usando resina alifática o pegamento epoxi para fijarlos firmemente en su lugar. Pegar los trastes también sirve para rellenar los espacios de las ranuras y así ayudar a que las vibraciones se difundan más homogéneamente a través del mástil. Las ranuras de los trastes deben ser cortadas perfectamente para alojar los trastes tanto en profundidad como en grosor y así no debilitar el mástil ni comprometer su estabilidad. Si las ranuras de los trastes son demasiado estrechas, instalar los trastes con el martillo puede hacer que el mástil se curve (convexo) lo cual no podrán corregir la tensión de las cuerdas ni el alma.

El modo en que se instalan los trastes en el diapasón tiene una influencia no sólo en el sonido sino también en la comodidad y el funcionamiento del instrumento. Trastes instalados en las ranuras demasiado profundamente o sin pegamento para fijarlos, con un radio que no concuerda con el diapasón, o que no están debidamente nivelados tienen un impacto negativo en el sonido y crean agujeros en las frecuencias y una pobre vibración de las cuerdas.

Después de que los trastes hayan sido instalados deben ser también nivelados, redondeados y pulidos a mano para asegurar la máxima comodidad y afinación.

En el mercado hay una gran oferta de tipos de traste para cualquier gusto y estilo. La altura del traste tiene una gran influencia en cómo se siente el instrumento al tocarlo y de alguna manera también en su sonido. El sonido se ve influenciado por la distancia entre la cuerda y la superficie

del diapasón. Cuanta más alta sea esta distancia, más se percibirá un incremento de volumen en la cuerda pulsada.

A continuación tenemos una descripción de los tipos de traste más usados en términos de tacto y construcción.

Trastes muy altos y anchos:

Los trastes muy altos y anchos se suelen recomendar para solistas. Este tipo de traste permite una gran velocidad gracias a la ausencia de fricción entre el diapasón y las puntas de los dedos. También facilita los estiramientos "bendings", "hammer on" y "pull off" ya que los dedos "agarran" mejor las cuerdas.

Un traste alto también favorecerá un poco más de sustain debido a su mayor masa y también se puede nivelar más veces antes de cambiarlo.

Los trastes más anchos resultan ser más cómodos al moverse por el diapasón que los altos y estrechos. Por otra parte, especialmente en principiantes, los trastes altos pueden marcar más los dedos. Los trastes altos también pueden llevar a problemas de afinación si se les ejerce demasiada presión a las cuerdas.

Este toque suave se puede traducir a veces en mayor velocidad en el diapasón, lo cual puede formar parte de nuestro estilo pero para algunos otros puede suponer una limitación dinámica en su modo de tocar.

Un traste muy ancho puede dar problemas de afinación por el desgaste si no se nivela y pule. Cuanto más ancho sea el traste más tendencia tendrá a allanarse con el contacto de la cuerda, alejando así el punto de apoyo de este de donde debería.

Por esta razón recomendamos controlar el desgaste de los trastes si tocas mucho, llevar tu guitarra al técnico o luthier para que los nivele, redondee y pule a menudo.

Normalmente los trastes altos se usan para heavy rock y solistas.

Trastes anchos y bajos:

Los trastes muy anchos y bajos pueden ser muy cómodos para deslizarte por el diapasón pero menos cómodos para los bendings debido a la mayor fricción entre los dedos y el diapasón. Permitirán menor número de nivelados (menor material) así que deberán ser cambiados más a menudo si tocas mucho.

#### Trastes estrechos y bajos:

En los 50 y 60's la guitarra eléctrica jugaba un papel principalmente rítmico y venía equipada con trastes muy estrechos y bajos. Este tipo de traste es típico en instrumentos vintage y se usa raramente en instrumentos modernos que necesitan trastes más altos y anchos más adecuados para las nuevas técnicas y también resistirán más tiempo.

#### Trastes médium jumbo:

Los trastes médium altos y anchos ofrecen varias ventajas si no eres un solista radical. Básicamente no tienen los inconvenientes de los trastes más altos aunque ofrecen un buen tacto para bendings y son más cómodos para moverse a través del diapasón. Su construcción más estrecha mejora la afinación y se pueden nivelar varias veces antes de substituirlos. Este tipo son ideales para músicos versátiles que tocan tanto rítmica como solos.

Los trastes médium jumbo son los más utilizados en la actualidad debido a que son los más cómodos y permiten tocar varios estilos. Por ello son estos los que utilizaremos para nuestra guitarra.

#### Tipo de madera

En cuanto al tipo de madera para el mástil se va a usar Arce (Maple), ya que tiene una muy buena relación densidad/rigidez y es la madera que más se usa para este cometido. La densidad y rigidez del arco producen un sonido brillante y articulado así como un buen ataque y sustain.

Debido al elevado precio y dificultad de encontrar materiales como ébano, palorrosa, etc. se ha decidido hacer el diapasón de arco, lo cual es una buena opción para conseguir sonidos más brillantes. El mástil y el diapasón se harán en la misma pieza.

#### Alma (Truss Rod)

El alma es una barra de metal que atraviesa el mástil longitudinalmente por su interior, que se encarga de reforzar el mástil para contrarrestar la tensión que ejercen las cuerdas sobre él. Esta tensión puede llegar a ser de 50 Kg. Además permite su ajuste según lo que precise el mástil y esto a su vez viene dado por el calibre de cuerdas, el grosor del propio mástil y otros factores como los cambios climáticos.

En cuanto al ajuste, en las guitarras modernas normalmente hay un tornillo accesible desde el clavijero. En las guitarras antiguas este tornillo se encontraba en la base del mástil, justo donde se une al cuerpo, obligando a tener que desmontar el mástil del cuerpo para realizar el ajuste.

Existen diferentes tipos de alma. En un principio se usaban almas que no permitían ajuste ninguno, simplemente hacían de refuerzo. Hoy en día se usan almas ajustables. Podemos hablar de almas de un sentido a las que permiten el ajuste en un solo sentido, contrarrestando la tensión de las cuerdas, y de doble sentido que permite el ajuste tanto para enderezarlo como para forzarlo a que tenga curvatura. En ambos casos existen diferentes tipos de almas.

#### *Almas de un sentido.*

Pueden ser de varios tipos. Básicamente permiten ajustar el mástil restando curvatura cuando se aprieta y dejando más curvatura cuando el mástil con el alma suelta está excesivamente recto. El alma va alojada en un canal curvo cóncavo y lleva un filete de madera que cubre dicho canal. El funcionamiento es sencillo. Cuando se aprieta el tornillo la varilla tiende a enderezarse y por tanto pone recto el mástil.

El segundo tipo de almas de un sentido están formadas por dos varillas soldadas en un extremo y con un tope en el que una de las varillas se apoya en el otro. La varilla superior permanece fija y la segunda lleva una rosca en el extremo y una tuerca. Cuando se aprieta el tornillo la varilla inferior se hace más corta que la varilla superior con lo que la empuja hacia abajo haciendo que el mástil se enderece. Ibanez suele utilizar este tipo de almas para sus guitarras.

#### *Almas de doble sentido.*

Este tipo de almas permite ajustar el mástil en ambos sentidos, tanto como para perder como para ganar curvatura.

A la hora de tocar el mástil vibra y el alma absorbe parte de esa energía disminuyendo el sustain. Otro factor negativo es que para introducir el alma hay que realizar un canal el cual disminuye la sección y hace que el material se debilite. Es por ello que se ha decidido investigar otras opciones.

Existe una marca de guitarras (Vigier) que no utilizan alma. Lo que hacen es remplazar el alma por una tira de fibra de carbono para reforzar el mástil. Estos mástiles están contruidos por un 90% de arce y un 10% de fibra de carbono. Esto hace que el mástil sea más resistente a los cambios de temperatura y la tensión de las cuerdas. Otra gran ventaja de este tipo de construcción es que no requiere de ningún tipo de ajuste a la hora de poner cuerdas más gordas o afinar la guitarra.



*Imagen 39. Corte longitudinal mástil Vigier.*

En esta imagen tenemos un corte longitudinal de cómo sería este tipo de mástil. Como podemos observar la fibra de carbono atraviesa todo el mástil.

Tras darle varias vueltas se ha decidido realizar el alma de carbono para evitar tener que hacer futuros ajustes, ya que un mástil con este tipo de alma se autoajusta. Una vez la fibra de carbono se introduce y se pega, forma parte del mástil por lo que de esta manera no tenemos un hueco que nos debilite el material como sucede con las almas de metal. Esta tira de carbono actúa como tensor evitando que el mástil se curve.

### Cejuela (Nut)

Las cuerdas en la guitarra eléctrica se apoyan en dos puntos: la cejuela y las selletas del puente. La cejuela puede estar hecha de diferentes materiales de acuerdo con la calidad y el sonido que queremos conseguir.

En términos de sonido, el material del que está hecha la cejuela solo influencia a las cuerdas al aire y al contraste entre estas y las que son pulsadas. Lo que se busca es que el sonido de las cuerdas al aire se parezca lo más posible al de las cuerdas pulsadas.

La mejor manera de conseguir esto es usando un traste "cero", eso es instalar un traste en el lugar de la cejilla con una especie de guía detrás que sujete las cuerdas en la posición adecuada.

Otro modo de conseguir esto es usando una cejuela de material metálico como latón o acero. A continuación tenemos los materiales que se suelen usar para la cejuela.

**Hueso:** El hueso es, con diferencia, el mejor material para usar en la construcción de una cejuela ya que ofrece volumen, sonido abierto, resistencia contra golpes y también una buena fiabilidad en la afinación, especialmente si se lubrica periódicamente.

**Marfil:** Este material es muy parecido al hueso pero un poco más duro y brillante. También un poco más difícil de trabajar.

**Micarta, Corian, etc.:** Estos materiales plásticos son de varias durezas y densidades. Algunos de ellos suenan y reaccionan de modo muy parecido al hueso aunque difícilmente alcanzan su sustain y articulación del sonido.

**Grafito:** El uso del grafito es casi obligatorio en el caso de una guitarra equipada con tremolo. Su sonido está bastante equilibrado y es un buen compromiso entre sonido y prestaciones.

**Graphtech:** Este material está hecho de grafito mezclado con teflón que ofrece una mayor lubricación y mejor estabilidad de afinación en caso de uso de tremolo. Su sonido es muy cercano al grafito estándar.

**TusQ:** Este es un material sintético que suena muy parecido al hueso. Está hecho de polímeros prensados a muy alta temperatura para alcanzar la densidad del hueso.

**Latón:** Siendo casi el mismo material que los trastes, el latón asegura que las notas pulsadas y las tocadas al aire suenen idénticas. Una cejuela de latón durará muchos años con poco o ningún mantenimiento. Es un poco duro de trabajar pero vale la pena el esfuerzo.

**Acero:** Existen en el Mercado algunas cejuelas de acero. Casi siempre vienen equipadas con rodamientos para facilitar que se deslicen las cuerdas. Como el latón, el acero es un buen material para la cejuela si no vas tras el clásico sonido "vintage" y buscas algo más de brillo.

Se ha decidido realizar la cejuela en hueso puesto que es el material que mejor volumen ofrece y el que tiene mayor fiabilidad de la afinación.

## Diseño de la Pala

La pala también tiene un papel importante en el sonido de un instrumento. Cuanto más rígida sea la unión de la pala y el mástil, mejor devolverá la pala la vibración de las cuerdas al mástil, por lo tanto más largo será el sustain. Si por el contrario, la pala tiende a flexionarse, absorberá la vibración y el sustain se verá comprometido.

Existen básicamente dos tipos de construcción de la pala: recta o angulada. Ambas tienen influencia en el sonido, fiabilidad, comodidad y coste de producción.

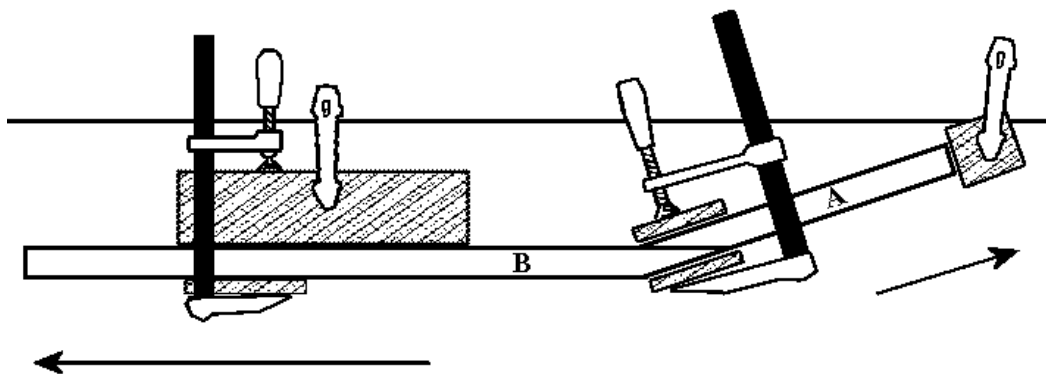
### Pala recta

Este tipo de palas son típicas de Fender (Strato/tele/JB etc.). Permite fabricar el mástil y la pala de una única pieza de madera de alrededor de 20mm de grosor.

Esta solución permite un considerable ahorro de tiempo, desperdicios, costes de producción y es fácil de fabricar en masa. Normalmente se diseñan para albergar seis clavijeros en línea a un lado de la pala. Este tipo de construcción es muy apropiada para guitarras con tremolo por la poca fricción que ejercen las cuerdas sobre la cejuela.

### Pala angulada

En algunos tipos de instrumentos como por ejemplo Gibson, la pala va angulada (inclinada) y requiere una mayor inversión de madera con el consiguiente incremento en los costes de manufactura. Este tipo de palas no permiten construir el mástil y la pala en una sola pieza. Por lo que complica su fabricación.



*Imagen 40. Pala angulada y su fabricación.*

Una pala angulada ofrece mucha menos resistencia a golpes por la reducida área de grano de la junta. Por esto es muy frágil en la junta siendo el principal punto de rotura de este tipo de construcción.

Otro factor a tener en cuenta es como rompen las cuerdas en la cejuela. Estas pueden seguir rectas hasta las clavijas o requerir de un ángulo para llegar hasta ellas. Contra mas recto lleguen menor será la desafinación que puedan obtener.



*Imagen 41. Cuerdas rectas.*



*Imagen 42. Cuerdas anguladas.*

En la primera de estas imágenes podemos ver como las cuerdas van rectas a las clavijas mientras que en la otra imagen las cuerdas van anguladas.

Se ha decidido realizar una pala recta en la cual las cuerdas al romper en la cejuela irán lo más rectas posibles. Se ha elegido esta construcción debido a su facilidad de fabricación y reducido coste así como ventajas a la hora de conservar la afinación.



## Solución Electrónica

Como el objetivo del trabajo es la de realizar una guitarra modular, hay que buscar una solución para conseguir que la señal de las pastillas llegue a los controles que van en el módulo inferior.

### 1ª Solución

Se pensó en realizar la conexión mediante chapas de latón u otro material conductor que a la hora de realizar la unión del módulo inferior con el cuerpo central entrasen en contacto. Finalmente no se vio viable esta opción debido a la necesidad de utilizar 3 pares de chapas y disponer de poco espacio para ello.

### 2ª Solución

Esta segunda solución consiste en utilizar un conector D-sub (del inglés D-Subminiature). Es un tipo o grupo de conectores que se utiliza generalmente para conectar ordenadores con distintos periféricos. Este tipo de conectores tiene dos o tres filas de contactos (pines) por lo general rodeados por una carcasa metálica en forma de D. La forma en D garantiza la orientación correcta en la conexión. A la parte que contiene los pines se le llama conector macho y a la parte que tiene los orificios conector hembra. Para esta conexión una de las partes ira embutida en el cuerpo central y la otra en el módulo inferior. A los pines irán soldadas las señales que queremos transmitir, es decir, a uno de los pines ira la señal de una de las pastillas a otro la otra señal y a otro la tierra de las pastillas y del puente.



*Imagen 43. Conectores D-sub 9.*

En la imagen podemos ver como son este tipo de conectores. En la parte posterior tenemos el conector macho y en la inferior el hembra. La otra imagen nos muestra como son estos conectores por detrás. Ahí es donde irán soldados los diferentes cables.

## Fabricación

Para la fabricación de las distintas piezas de la guitarra se ha utilizado una máquina de control numérico de 3 ejes. Para programar la maquina se utilizó un software llamado VisualMill en el cual se pueden preparar las estrategias de mecanizado, simularlas y una vez listas enviarlas a la máquina.

Se empezó fabricando el cuerpo central de la guitarra puesto que es una de las partes más importantes de la guitarra, ya que en el encajan tanto los módulos como el mástil.

### Cuerpo central

Se comenzó fabricando el cuerpo central. Para fabricar esta pieza se partió de un bloque de madera de fresno. El cual podemos observar en la siguiente imagen:



*Imagen 44. Bloque de Fresno.*

El primer paso fue preparar las diferentes estrategias de mecanizado. Posteriormente se preparó el bloque de madera. El bloque se cortó con las dimensiones necesarias y posteriormente se aliso para conseguir una superficie plana. Por último se fijó a la mesa de la máquina mediante cinta de doble cara. Se comenzó mecanizando la cara vista, es decir la cara en la que van colocadas las pastillas y el puente. Se consideró mecanizar primero esta cara debido a su dificultad.

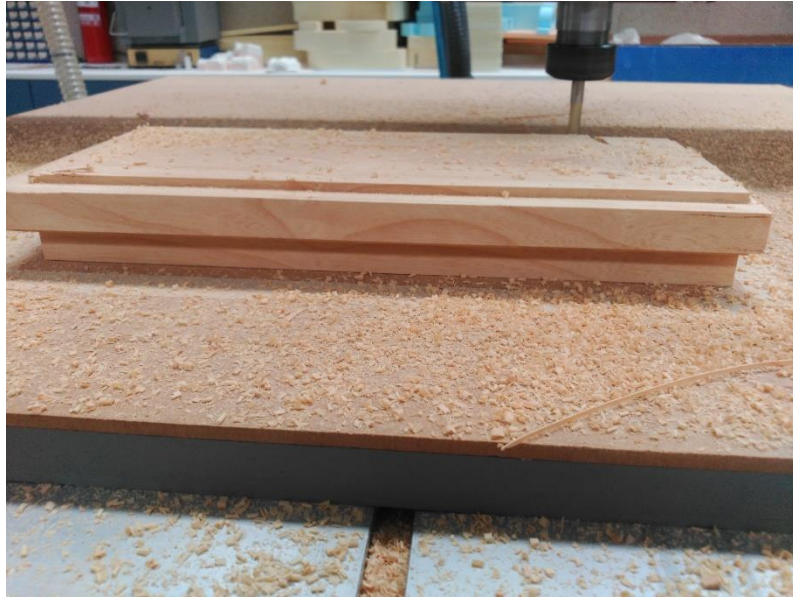


*Imagen 45. Bloque pegado a la mesa.*



*Imagen 46. Mecanizado de la cara vista.*

Tras mecanizar esta cara se le dio la vuelta y se mecanizo la otra cara.



*Imagen 47. Mecanizado de la cara trasera.*

Como podemos ver en la imagen 44, salió un nudo considerable en la madera por lo que esta pieza se desechó y se volvió a realizar todo el proceso con otro bloque de madera.

Tras la mecanización se comprobaron medidas y nos dimos cuenta de que las cajeras no eran lo suficientemente profundas. Para solucionar este error se volvió al software y se prepararon diferentes estrategias para conseguir la profundidad deseada en las cajeras.

## Mástil

Debido a que se trata de una pieza muy complicada se realizó primero una prueba en espuma de poliuretano de alta densidad. Para conseguir esta pieza se realizó un primer desbaste para eliminar la mayor parte del material y unos posteriores acabados paralelos en diferentes zonas para conseguir las curvaturas del mástil. Como con el cuerpo central se partió de un bloque en este caso de espuma de poliuretano el cual se pegó a la mesa de la máquina.



*Imagen 48. Bloque de espuma*

Tras colocarlo se mandó el archivo a la máquina y se mecanizó la primera de las caras, en este caso la cara trasera del mástil debido a su complejidad.





*Imagen 49. Mecanizado de la parte trasera del mástil.*

Posteriormente se le dio la vuelta a la pieza y se mecanizo la cara del diapasón y el resultado fue el siguiente.



*Imagen 50. Mástil finalizado*

Como se puede observar hubo un pequeño error de continuidad. Esto fue debido a que el eje del diapasón no concuerda con el eje central del total del mástil debido a la geometría de la pala. Por ello a la hora de centrar el mástil en el bloque el eje del diapasón quedo desplazado del eje central del bloque.

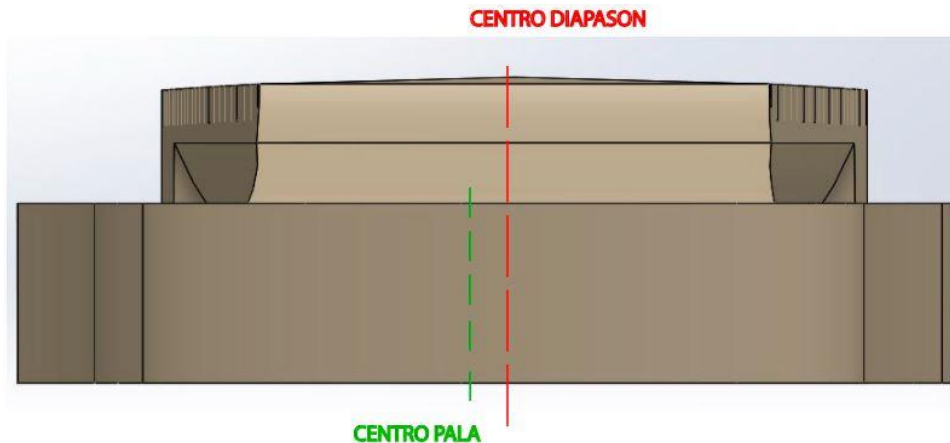


Imagen 51. Imagen eje mástil y pala.

En esta imagen vemos como el centro del total del mástil queda desplazado respecto al eje central del diapasón. Es por ello que a la hora de darle la vuelta para mecanizar la otra cara hubo ese error de continuidad.

Para solucionar esto se le realizaron al mástil dos aletas postizas en la pala que sobresaliesen la misma distancia respecto del eje central del diapasón. De esta forma a la hora de central el mástil dentro del bloque los ejes del diapasón y del centro del bloque serán el mismo.

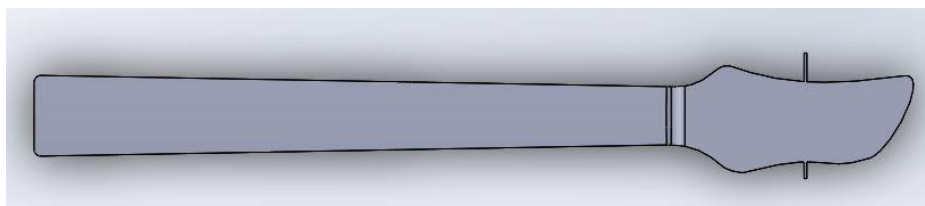


Imagen 52. Mástil con aletas

Tras realizar este cambio se volvió a realizar otra prueba en espuma de poliuretano y en esta ocasión conseguimos que el mástil saliese perfecto.

Después de tenerlo todo claro se pasó a fabricar el mástil en madera de arce. Para centrarlo se realizó un pequeño bastidor el cual atornillado a la mesa permitiese que a la hora de voltear el bloque tras mecanizar la primera de las caras, este se encontrase en la misma posición.

Antes de comenzar a mecanizar la primera de las caras se realizó un canal para introducir el alma de fibra de carbono.



Para fabricar el alma se sacaron 6 tiras de 500x10x1mm de una plancha de fibra de carbono y se pegaron con resina epoxi consiguiendo un alma muy dura y resistente. Posteriormente se introdujo y se pegó en el canal. Tras su secado se colocó en el bastidor de nuevo y se mecanizó.



*Imagen 53. Fabricación del alma.*



*Imagen 54. Fabricación del alma.*



*Imagen 55. Alma finalizada.*



*Imagen 56. Bloque de madera de arce.*



*Imagen 57. Canal para el alma.*



*Imagen 58. Inserción del alma en el bloque de madera.*



*Imagen 59. Mecanizado de la parte trasera del mástil con la fibra introducida.*



*Imagen 60. Mástil finalizado cara trasera.*





*Imagen 61. Mástil finalizado cara delantera.*

Después de tener el mástil fabricado se realizaron las ranuras para la colocación de los trastes. Para ello se realizó una plantilla del diapasón (Anexo 2) en la que se tenía la localización de cada uno de los trastes. De esta forma asegurábamos que cada traste fuese colocado en su posición. Esta plantilla se pegó mediante pegamento de barra al diapasón y con una sierra se realizaron las ranuras.



*Imagen 62. Realización de las ranuras para los trastes.*

Una vez realizadas las ranuras con la ayuda de un martillo se colocaron cada uno de los trastes.



*Imagen 63. Colocación de los trastes.*



*Imagen 64. Mástil acabado con todos los trastes.*

Por ultimo con la ayuda de otra plantilla (Anexo 3), la cual tenía la forma de la pala, se realizaron los agujeros para la colocación de las clavijas.

Otro paso a realizar fue el de colocar los marcadores de los trastes en el lateral del diapasón. Para ello se realizaron unos pequeños taladros en los trastes 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17 y 21. Después se introdujo un trozo de plástico amarillo fosforito en cada uno de ellos con la ayuda de un martillo y posteriormente se cortaron mediante un cúter para dejarlos a ras de la madera.

Otro factor muy importante es el del nivelado de los trastes. Este paso hay que hacerlo para que todos los trastes estén a la misma altura y la guitarra no trastea, es decir que al pulsar una cuerda y hacerla vibrar la cuerda no roce con el traste siguiente. Esto pasa si un traste está más elevado que otro. Para realizar esto se utiliza un taco de madera especial con la curvatura del mástil al cual se le acopla una lija al agua de 600. Como no disponíamos de esta herramienta se utilizó un taco rectangular de 200mm de largo y se realizó la tarea con mucho cuidado de que los trastes no se quedasen rectos. Antes de empezar se pintaron todos los trastes con un rotulador indeleble para saber cuándo parar de lijar. De esta forma se pueden ver que trastes están más elevados que otros, pudiendo lijarlos individualmente para llegar a la altura deseada. Posteriormente se cambió la lija a una de 1200 para el pulido. Tras pulirlos se recoronaron uno a uno puesto que a la hora de lijarlos se quedan planos. Esta operación se realiza mediante una herramienta especial similar a una lima.



*Imagen 65. Herramienta para recoronar.*

En su defecto se puede utilizar un taco de madera al cual se le hace un canal con una anchura un poco menor que la de un traste al cual se le acopla una lija al agua para pulir.



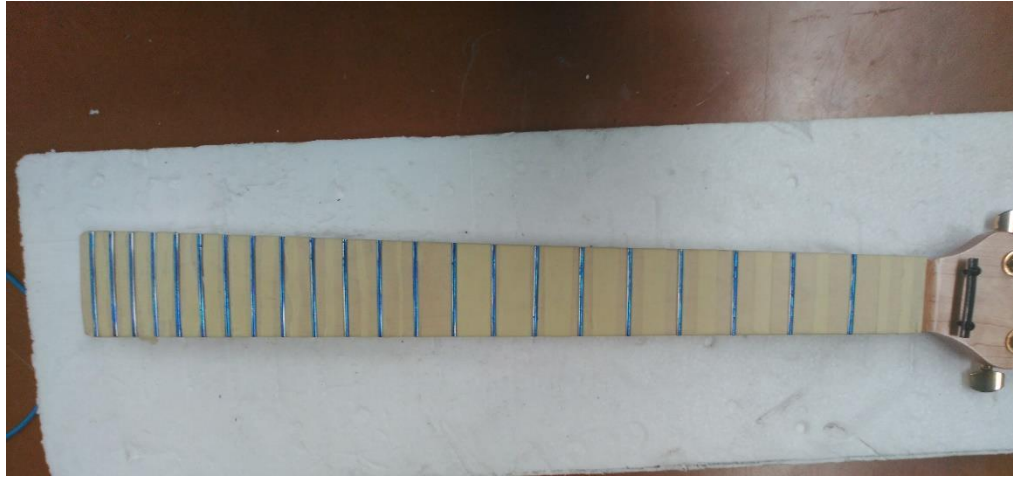
*Imagen 66. Taco de madera para el coronado de trastes.*

Como hemos dicho antes el nivelado de trastes es muy importante. Para ello se utilizaron dos tacos a los cuales se les acoplo una lija. Antes de empezar el nivelado se debe tapar la superficie del mástil con cinta para no dañar la madera. Posteriormente se pintan los trastes con un rotulador indeleble para saber cuándo dejar de lijar y poder ver que trastes están más bajos que otros.



*Imagen 67. Tacos utilizados para el nivelado de trastes.*





*Imagen 68. Mástil cubierto y trastes pintados.*



*Imagen 69. Nivelado de trastes.*

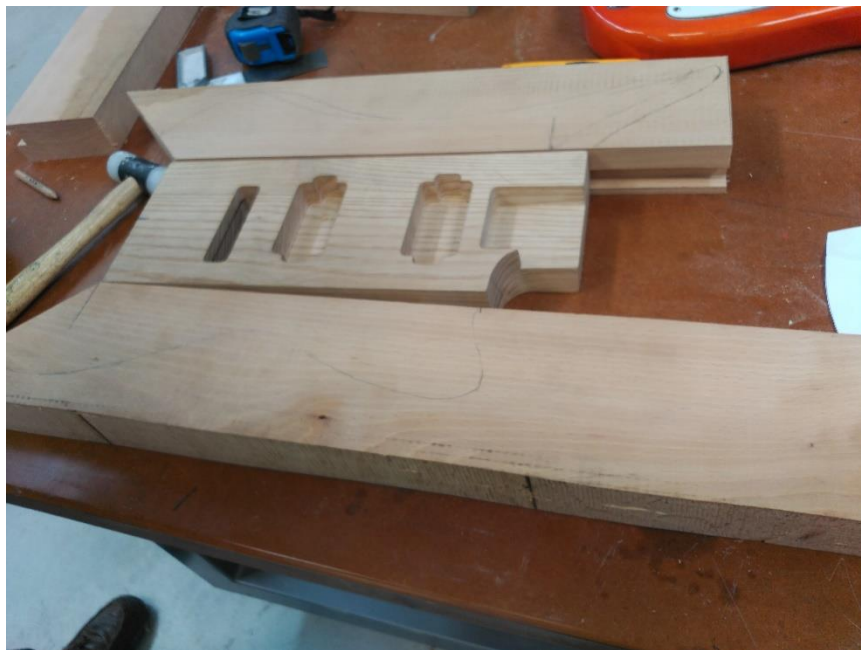
Por último se recoraron y pulieron uno a uno.

## Módulos

La fabricación de los módulos es complicada puesto que para poder realizar la unión con el cuerpo central están provistos de un canal. Este canal esta en L por lo que su fabricación en la máquina de mecanizado es imposible. Por ello cada uno de los módulos se realizó en 2 piezas a las cuales se les hizo previamente el canal. Posteriormente se pegaron y se consiguió un bloque para poder mecanizar.



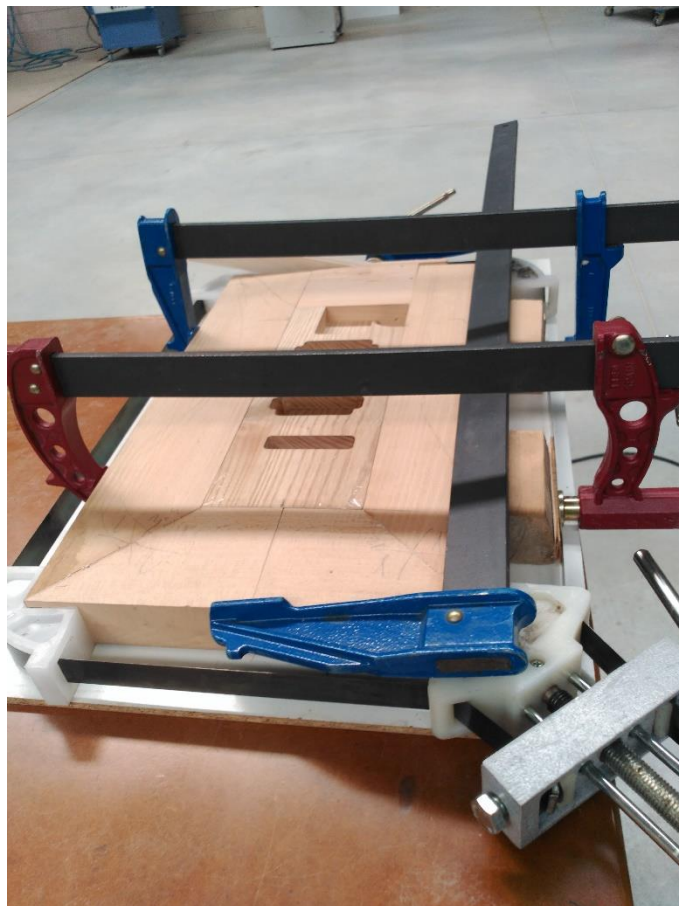
*Imagen 70. Canal.*



*Imagen 71. Piezas a pegar para conseguir el bloque con el canal hecho para mecanizar.*



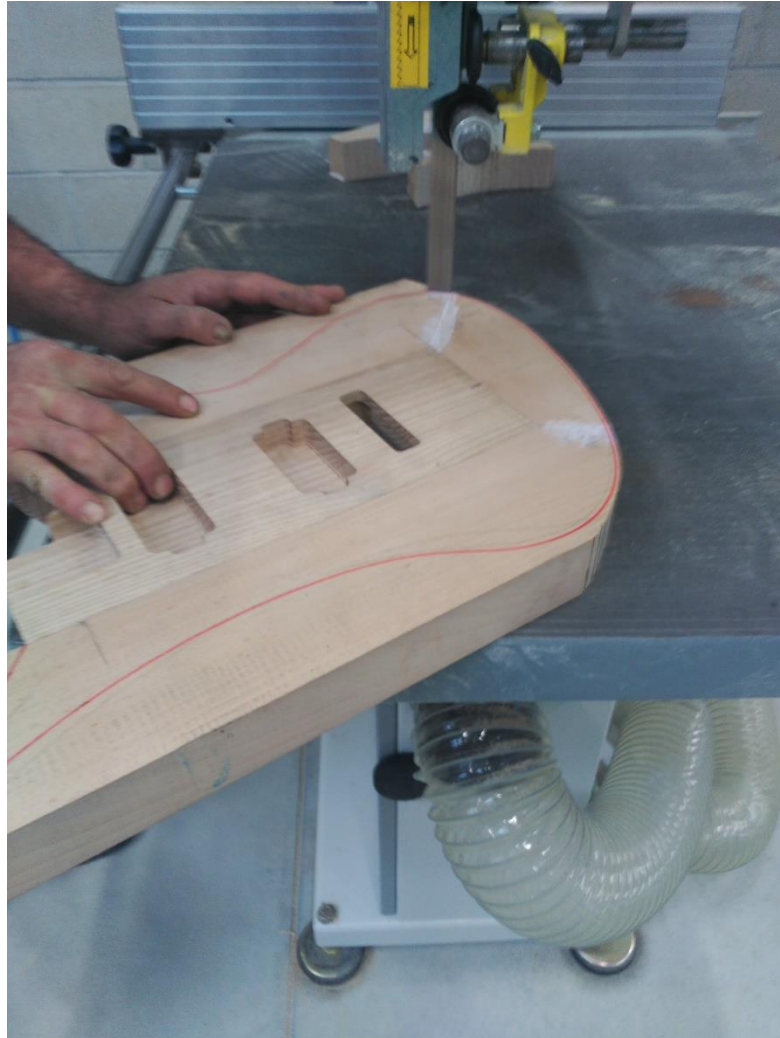
*Imagen 72. Pegado de las piezas para conseguir el bloque para mecanizar.*



*Imagen 73. Secado de la cola.*

Después de pegarlos conseguimos el bloque para mecanizar ya con el canal hecho. Se consideró mecanizar los dos módulos a la vez para conseguir continuidad entre ellos.

Para evitar que la maquina estuviese trabajando en vano se decidió recortar el contorno de la guitarra.



Una vez hecho esto se colocó en la mesa de la máquina y se mecanizo una de las caras. Posteriormente se le dio la vuelta asegurándose de que se colocaba en la misma posición y se mecanizo la otra cara.





*Imagen 74. Mecanizado de los módulos cara trasera.*



*Imagen 75. Mecanizado de los módulos cara vista.*

Una vez se tuvieron terminados se realizaron los diferentes agujeros para la colocación de potenciómetros, selector de pastillas y Jack así como el hueco para la instalación del conector para pasar la señal de las pastillas a los controles y los agujeros para la introducción de los casquillos de la unión excéntrica.

## Acabados

Una vez se tuvieron todas las piezas acabadas se les dio los diferentes acabados a cada una de ellas.

El mástil y el cuerpo central se lijaron y se les dio un barniz incoloro, para que de esta forma se pudiesen ver las vetas de la madera.

Para el acabado de los módulos se les dieron 3 capas de pintura negra de poliuretano con catalizador.



*Imagen 76. Acabado de los módulos.*

## Montaje

En los laterales del cuerpo central se colocaron los pernos para la unión, se introdujeron las pastillas en sus respectivas cajas sacando los cables por los agujeros realizados para ese cometido y se colocó el puente de tremolo en su posición. Posteriormente en el mástil se colocaron las clavijas y el tensor de cuerdas. Por último se colocaron las cuerdas y se comprobó la acción, es decir la altura a la cual se encuentran las cuerdas respecto a los trastes. Debido a que la acción estaba un poco alta se lijo un poco el hueso para conseguir que dicha altura fuese más baja. También se subieron o bajaron las selletas del puente para conseguir la acción óptima.

## Electrónica

Para la conexión eléctrica se siguió el siguiente esquema:

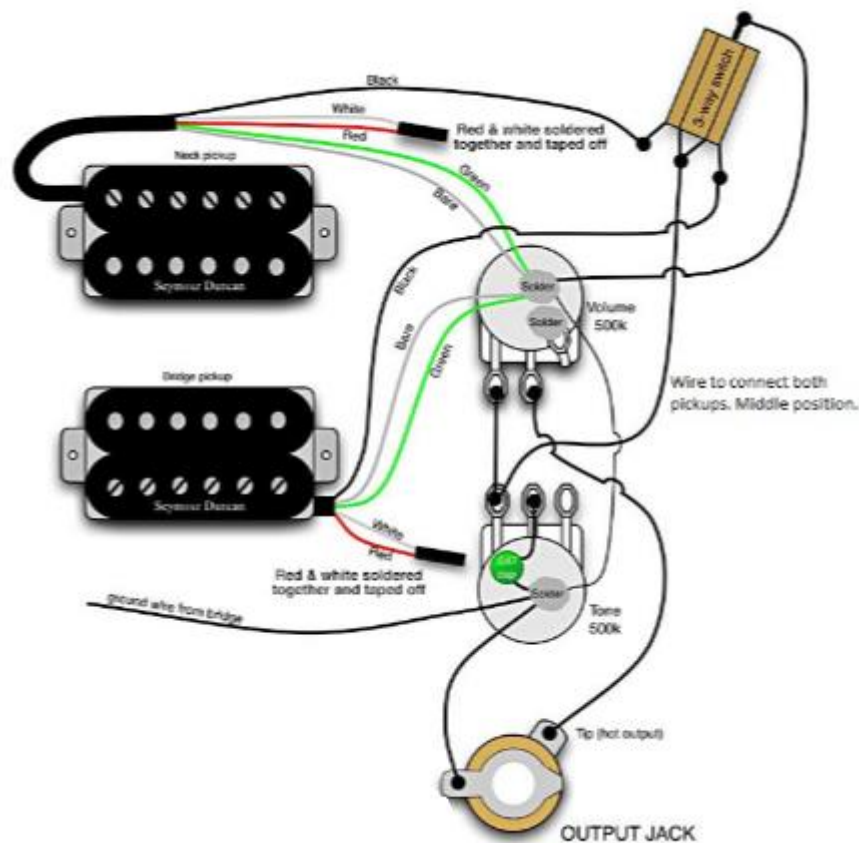


Imagen 77. Esquema de la conexión eléctrica.

Como se ha comentado con anterioridad para el paso de la señal de las pastillas a los controles se ha hecho uso de un conector de pines denominado Sub-d. En uno de los pines del macho se soldara la señal de la pastilla del puente, en otro la señal de la pastilla del mástil y en otro la tierra de las dos pastillas y el puente. Este macho va colocado en el cuerpo central. La

hembra va colocada en el módulo inferior, y de ella sacamos tres cables, la señal de cada una de las pastillas y la tierra.

Una vez se montó la electrónica y todos los demás elementos ya tenemos la guitarra acabada y el resultado es el siguiente:



*Imagen 78. Guitarra terminada.*



## Presupuesto del prototipo

Para realizar el presupuesto no se han tenido en cuenta las horas de trabajo sino el material utilizado. Este material se ha dividido en 4 grupos: maderas, acabados, herrajes y electrónica. En cada uno de ellos se detallan sus elementos así como su cantidad y precio en euros.

### PRESUPUESTO Y MEDICIONES

#### PRESUPUESTO CONSTRUCCION GUITARRA ELECTRICA

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO CAP1 MADERAS</b>				
1.1	UD MADERA DEL CUERPO CENTRAL Ud. Bloque de madera de fresno de 345x145x45mm para el cuerpo central.			
		1,00	35,00	35,00
1.2	UD MADERA DE LOS MODULOS Ud. Bloque de madera de haya de 500x310x45mm para los módulos.			
		2,00	14,00	28,00
1.3	UD MADERA DEL MÁSTIL Ud. Bloque de madera de arce de 650x90x26mm para el mástil.			
		1,00	20,00	20,00
TOTAL CAPÍTULO CAP1 MADERAS .....				83,00
<b>CAPÍTULO CAP2 ACABADOS</b>				
2.1	UD ACABADO CUERPO CENTRAL Y MÁSTIL Pulido y barnizado del cuerpo central y el mástil.			
		1,00	25,00	25,00
2.2	UD ACABADO DE LOS MODULOS Acabado completo de los módulos. 3 capas de pintura de poliuretano negro satinado.			
		1,00	30,00	30,00
TOTAL CAPÍTULO CAP2 ACABADOS .....				55,00

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

## PRESUPUESTO CONSTRUCCION GUITARRA ELECTRICA

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO CAP3 HERRAJES</b>				
3.1	UD Puerle de tremolo dorado tipo stratocaster.	<b>PUENTE GUITARRA</b>		
		1,00	19,95	19,95
3.2	UD 6 Clavijeros en línea dorados.	<b>CLAVIJEROS</b>		
		6,00	3,16	18,96
3.3	UD Sujeta correas de acero.	<b>SUJETACORREAS</b>		
		2,00	2,45	4,90
3.4	UD Cejilla fabricada de hueso de temera.	<b>CEJILLA</b>		
		2,00	10,00	10,00
3.5	UD Marcos de PVC, para sujeción de las pastillas.	<b>MARCOS PASTILLAS</b>		
		2,00	2,81	5,62
3.6	UD Sistema de unión para facilitar el montaje y desmontado rápido de los módulos. Sistema de perno y casquillo excéntrico.	<b>SISTEMA CONEXION LATERALES CUERPO</b>		
		3,00	5,00	15,00
3.7	UD Alma de carbono que atraviesa el mástil longitudinalmente.	<b>ALMA DE CARBONO</b>		
		1,00	14,00	14,00
3.8	UD Unión mástil cuerpo formado por dos tornillos de cabeza Allen con casquillo embutido en la parte inferior del cuerpo central y rosca embutida en la parte inferior del mástil.	<b>UNION MASTIL CUERPO</b>		
		2,00	8,00	16,00
3.9	UD Tensor de cuerdas de acero.	<b>TENSOR DE CUERDAS</b>		
		1,00	6,50	6,50
3.10	UD Trastes medio jumbo de níquel.	<b>TRASTES MEDIO JUMBO</b>		
		22,00	0,36	7,92
3.11	UD Tapa de fibra de carbono para los controles y tapa de fibra de carbono para el puente de trémolo.	<b>TAPAS DE FIBRA DE CARBONO</b>		
		1,00	10,00	10,00
3.12	UD 6 cuerdas de níquel	<b>CUERDAS</b>		
		6,00	1,50	9,00

**TOTAL CAPÍTULO CAP3 HERRAJES..... 137,85**

**PRESUPUESTO Y MEDICIONES****PRESUPUESTO CONSTRUCCION GUITARRA ELECTRICA**

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPITULO CAP4 ELECTRONICA</b>				
4.1	UD <b>PASTILLAS HUMBUCKERS</b> Ud. pastilla humbucker, color rojo-negro, de la marca Artec de 5 conductores.			
		2,00	13,00	26,00
4.2	UD <b>POTENCIOMETROS ALPHA 500K</b> Ud. Potenciómetros alpha, lineales de 500K, tuerca y arandela.			
		2,00	6,00	12,00
4.3	UD <b>JACK DE CONEXION</b> Ud., Jack de conexión empotrado mono, totalmente instalado.			
		1,00	10,00	10,00
4.4	UD <b>SECTOR DE PASTILLAS</b> Selector de pastillas de 3 posiciones, totalmente instalado.			
		1,00	5,50	5,50
4.5	UD <b>SISTEMA CONEXION RAPIDA PASTILLA</b> Ud. sistema de conexión rápida, para conectar modulo inferior de la guitarra al núcleo central, y favorecer el cambio posterior de la misma, formado por un conector D-sub DE-9.			
		1,00	2,50	3,00
4.6	UD <b>PEQUEÑOS ELEMENTOS DE CONEXION</b> Ud. conductores, arandelas, y demás elementos auxiliares necesarios para el montaje, apantallamiento y correcto funcionamiento de la electrónica.			
		1,00	10,00	10,00
<b>TOTAL CAPÍTULO CAP4 ELECTRONICA .....</b>				<b>66,50</b>
<b>TOTAL .....</b>				<b>342,35</b>

## Bibliografía

- Fundamentos del diseño de la guitarra eléctrica. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2016, a partir de <http://www.guitarristas.info/foros/fundamentos-diseno-guitarra-electrica/216242>
- Guitarra eléctrica. (2016, Junio 9). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Guitarra\\_el%C3%A9ctrica&oldid=91596347](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Guitarra_el%C3%A9ctrica&oldid=91596347)
- La escala de la guitarra. (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2016, a partir de <http://www.guitarristas.info/tutoriales/escala-guitarra/3014>
- Mástil atornillado. (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2016, a partir de [http://www.frudua.com/mastil\\_atornillado.htm](http://www.frudua.com/mastil_atornillado.htm)
- Mástil encolado (set neck). (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2016, a partir de [http://www.frudua.com/mastil\\_encolado\\_guitarra.htm](http://www.frudua.com/mastil_encolado_guitarra.htm)
- MINIFIX, El sistema de ensamble que necesitas. (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2016, a partir de <http://www.herrajesbralle.com.mx/Minifix-Sistema.php>
- Scale length (string instruments). (2016, mayo 26). En *Wikipedia, the free encyclopedia*. Recuperado a partir de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scale\\_length\\_\(string\\_instruments\)&oldid=722154684](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scale_length_(string_instruments)&oldid=722154684)
- The History of The Electric Guitar: How Music Was Changed Forever - free article courtesy of ArticleCity.com. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2016, a partir de [http://www.articlecity.com/articles/music\\_and\\_movies/article\\_309.shtml](http://www.articlecity.com/articles/music_and_movies/article_309.shtml)

# ANEXO 1 CALCULOS PARA EL POSICIONAMIENTO DE TRASTES

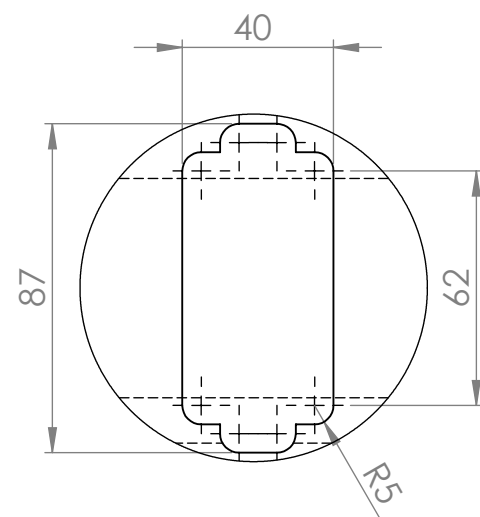
En la siguiente tabla podemos observar cuales son las distancias calculadas para cada uno de los trastes respecto al puente y a la cejuela. Este cálculo se realiza mediante lo comentado en el apartado de longitud de escala.

<b>Longitud de escala (mm)</b>	628,65	
<b>Factor</b>	1,059	
<b>Traste</b>	<b>Distancia desde el puente (mm)</b>	<b>Distancia desde la cejuela (mm)</b>
1	593,367	35,283
2	560,063	68,587
3	528,630	100,020
4	498,960	129,690
5	470,955	157,695
6	444,523	184,127
7	419,574	209,076
8	396,025	232,625
9	373,798	254,852
10	352,818	275,832
11	333,016	295,634
12	314,325	314,325
13	296,683	331,967
14	280,032	348,618
15	264,315	364,335
16	249,480	379,170
17	235,478	393,172
18	222,261	406,389
19	209,787	418,863
20	198,012	430,638
21	186,899	441,751
22	176,409	452,241

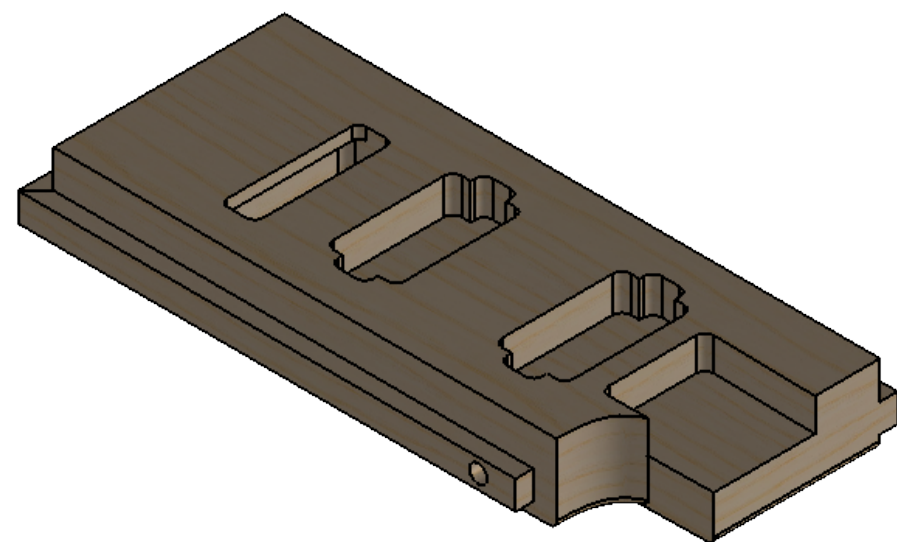
## ANEXO 2 PLANOS

A continuación se detallaran los planos de las piezas fabricadas para conseguir la guitarra. Hay que tener en cuenta que para la fabricación de las piezas es necesario el archivo 3D de la misma. Con el podemos introducir la superficie en el programa de mecanizado y tras preparar las estrategias fabricarlas. Por ello en la mayoría de planos no tendremos excesiva información de las medidas.

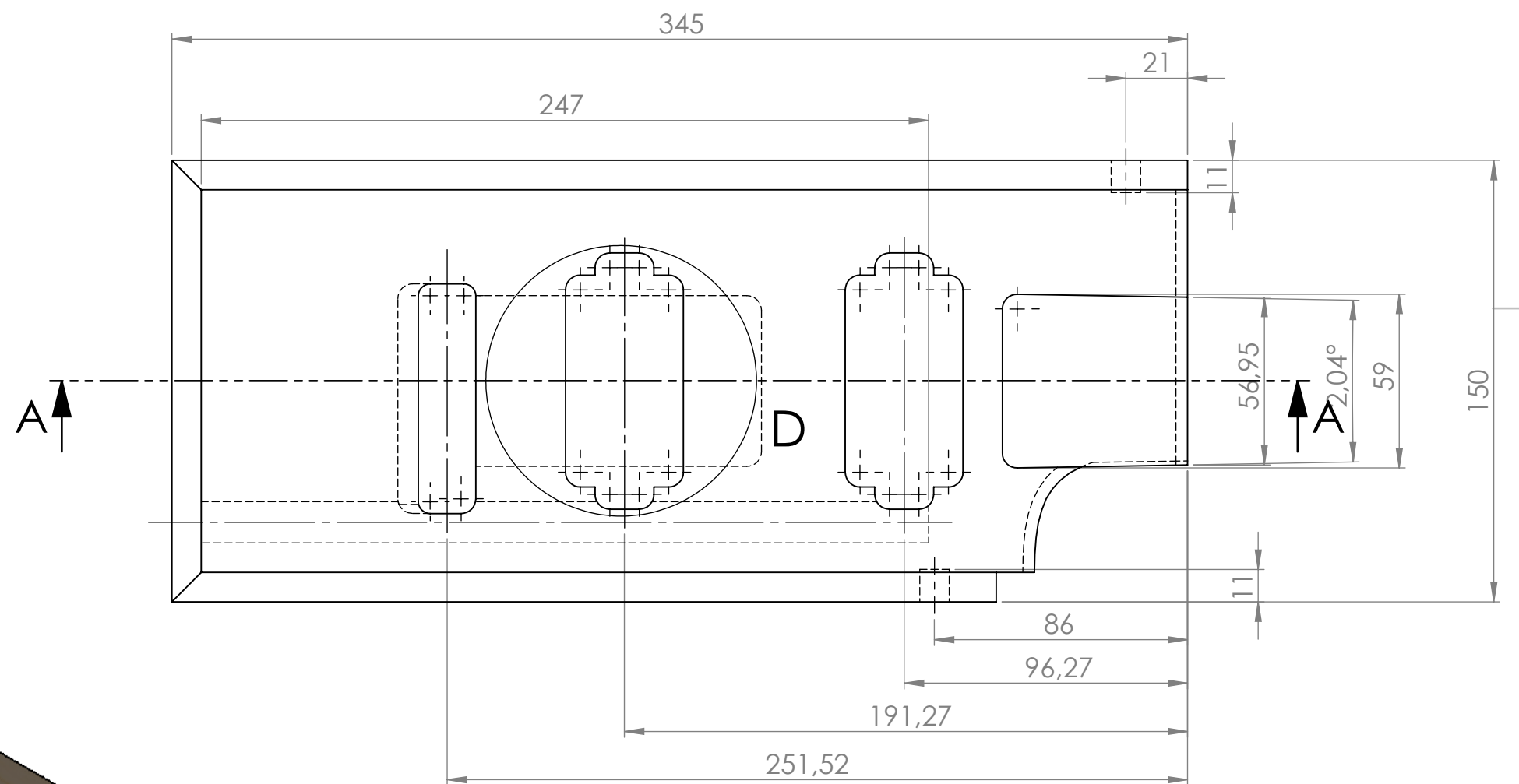




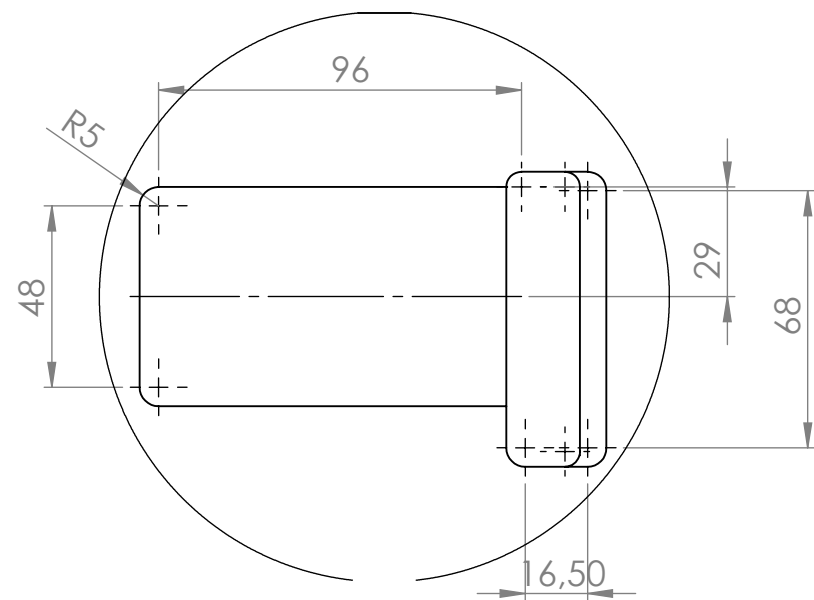
DETALLE D



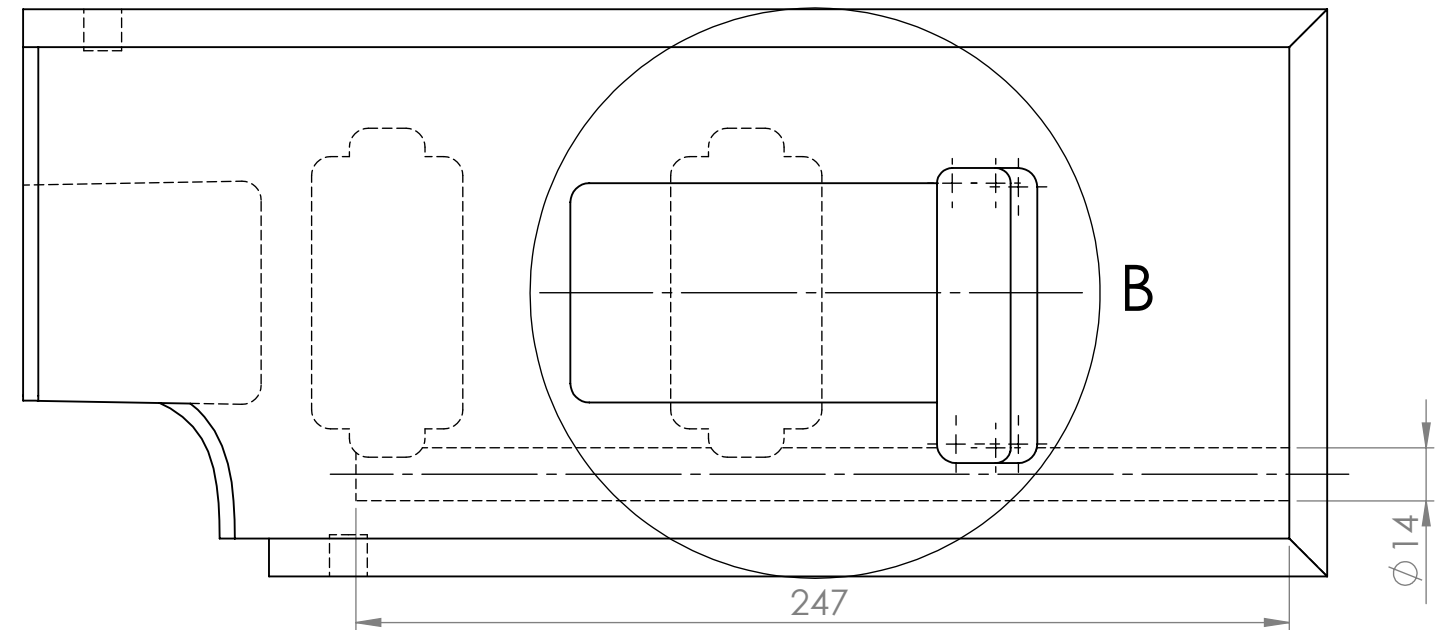
SECCIÓN A-A



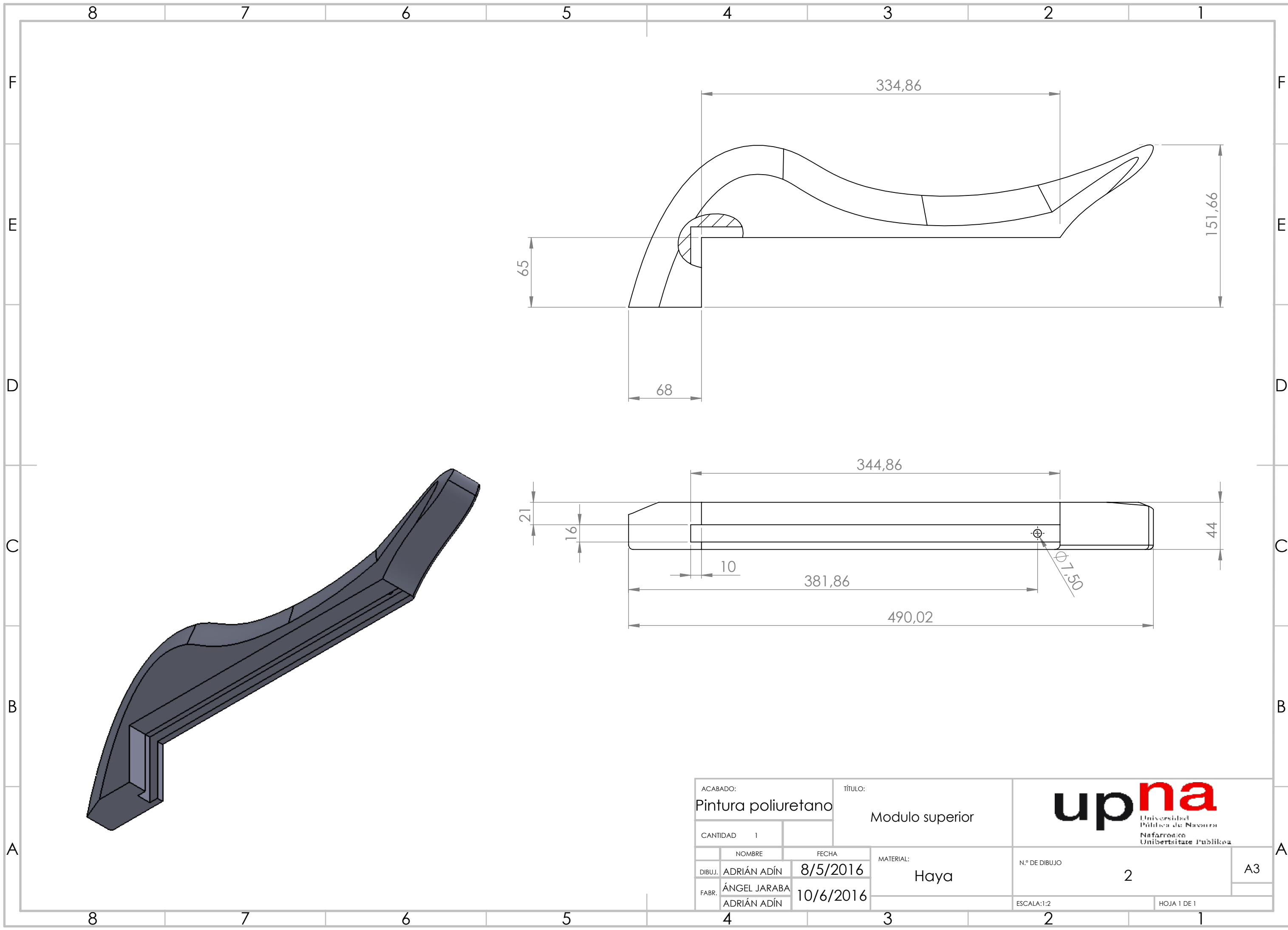
ACABADO: BARNIZADO			TÍTULO: CUERPO CENTRAL		<div>upna</div> <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>			
CANTIDAD     1								
	NOMBRE	FECHA		MATERIAL:  FRESNO	N.º DE DIBUJO  1A		A3	
DIBUJ.	ADRIÁN ADÍN	2/5/2016						
FABR.	ÁNGEL JARABA	1/6/2016						
	ADRIÁN ADÍN					ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1




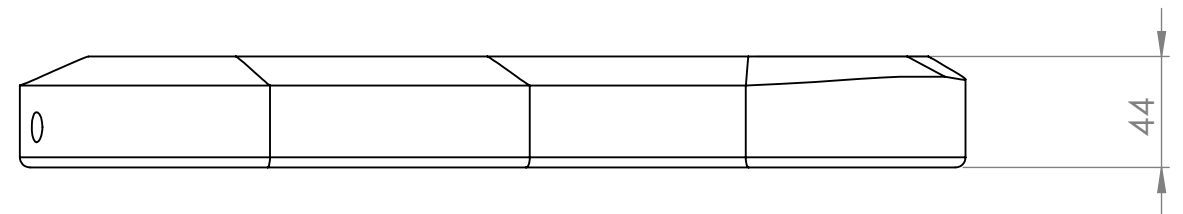
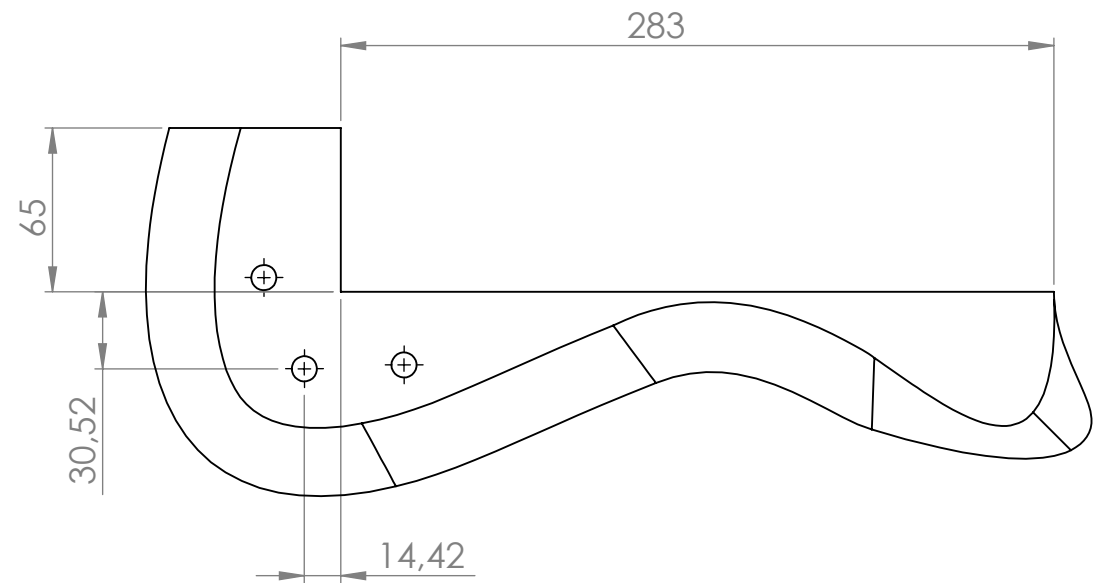
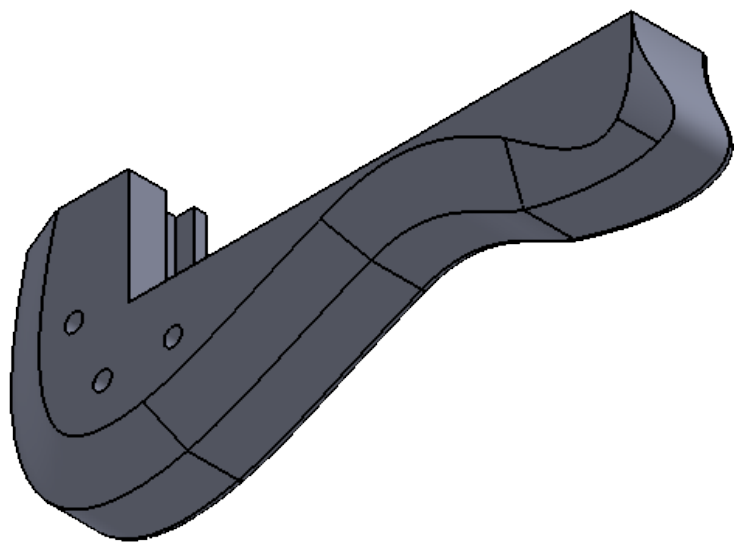
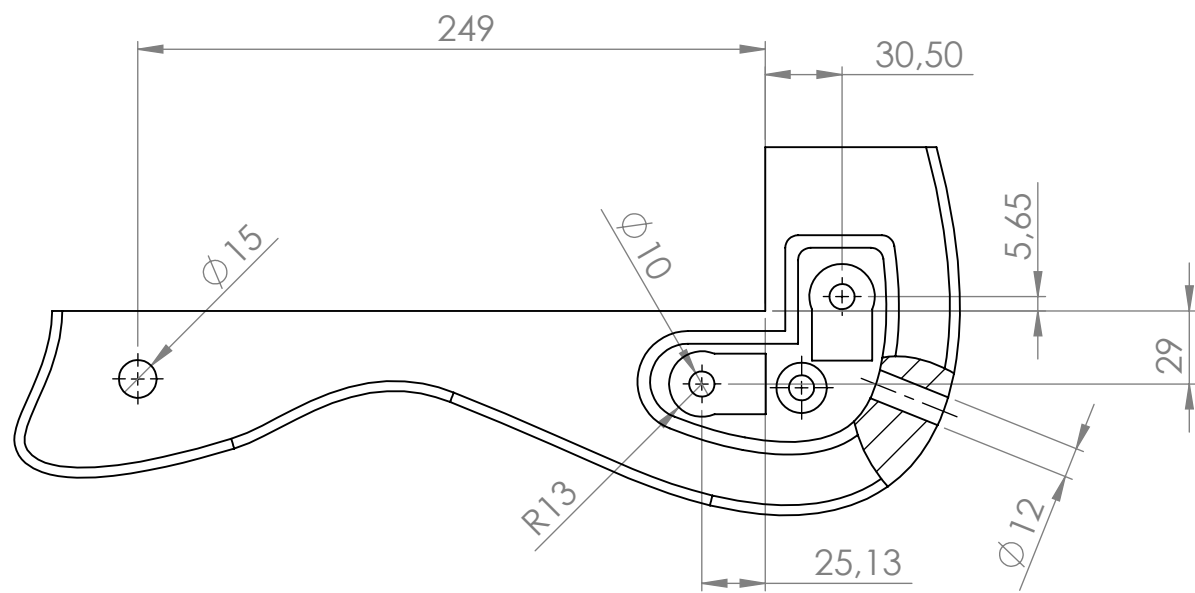
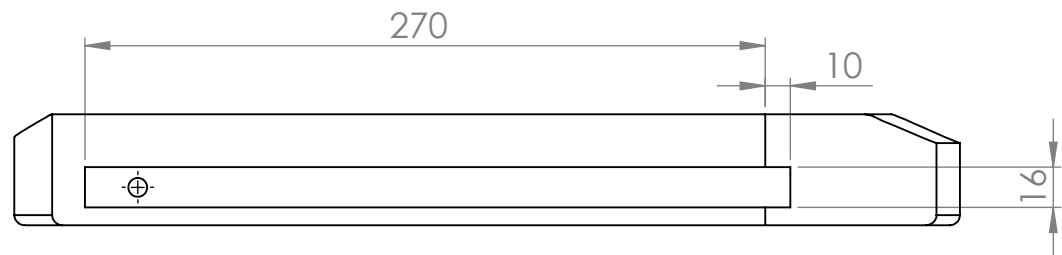
DETALLE B



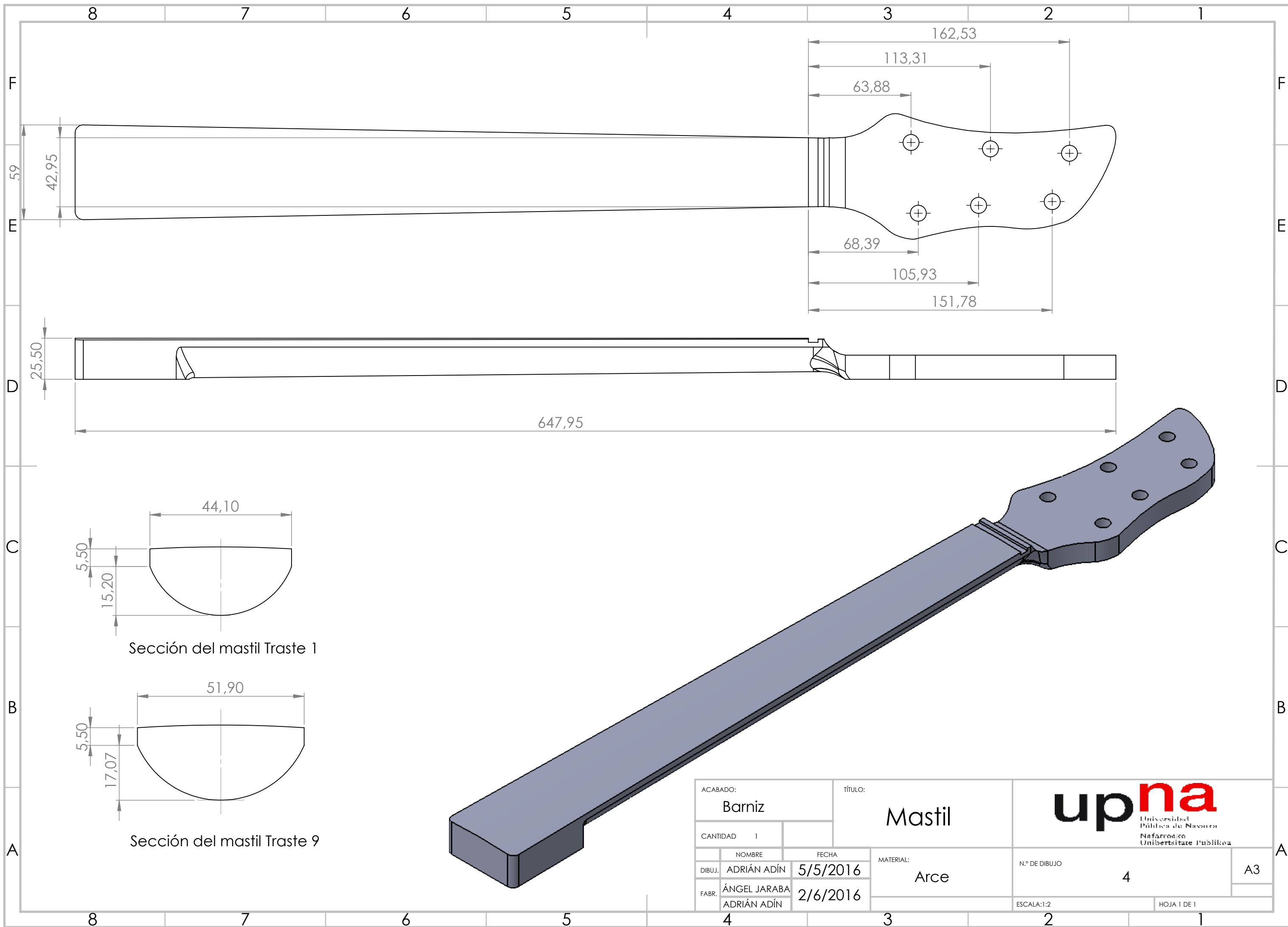
ACABADO: BARNIZADO			TÍTULO: CUERPO CENTRAL		<div>upna</div> <div>Universitat Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>			
CANTIDAD 1								
	NOMBRE	FECHA		MATERIAL: FRESNO	N.º DE DIBUJO 1B		A3	
DIBUJ.	ADRIÁN ADÍN	2/5/2016						
FABR.	ÁNGEL JARABA	1/6/2016			ESCALA:1:2			HOJA 1 DE 1
	ADRIÁN ADÍN							




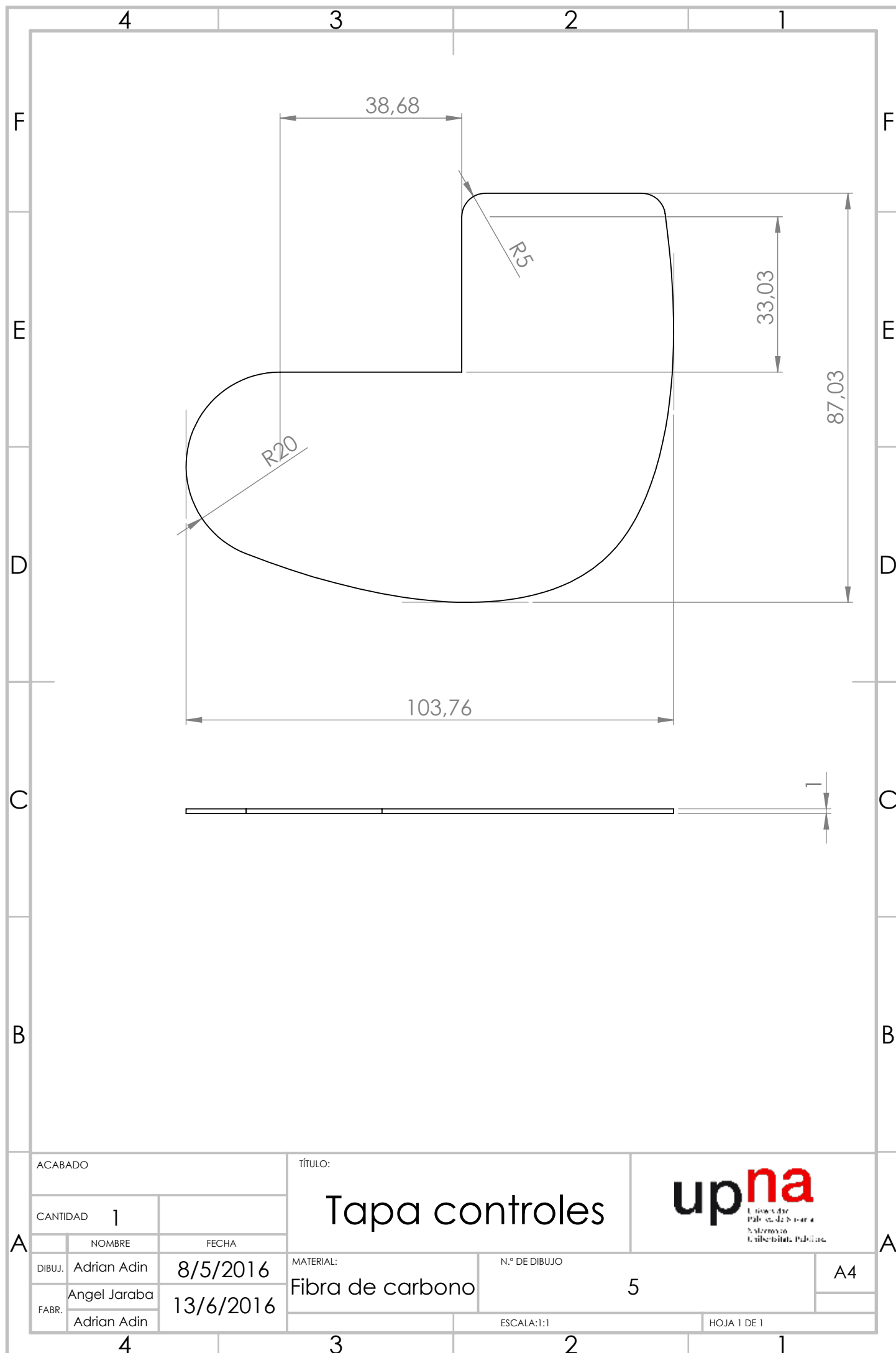
ACABADO: Pintura poliuretano			TÍTULO: Modulo superior		<div> Universitat Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>		
CANTIDAD 1							
	NOMBRE	FECHA		MATERIAL:  Haya	N.º DE DIBUJO  2	A3	
DIBUJ.	ADRIÁN ADÍN	8/5/2016					
FABR.	ÁNGEL JARABA	10/6/2016					
	ADRIÁN ADÍN						
				ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1		



ACABADO:		TÍTULO:		<div>upna</div> <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	
Pintura poliuretano		Modulo Inferior			
CANTIDAD		1			
	NOMBRE	FECHA		<div>MATERIAL:</div> <div>Haya</div> <div>N.º DE DIBUJO</div> <div>3</div> <div>A3</div>	
DIBUJ.	ADRIÁN ADÍN	8/5/2016			
FABR.	ÁNGEL JARABA	10/6/2016			
	ADRIÁN ADÍN				
				ESCALA:1:3	HOJA 1 DE 1



ACABADO: Barniz		TÍTULO: Mastil		 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	
CANTIDAD 1				N.º DE DIBUJO 4	
DIBUJ.	ADRIÁN ADÍN	FECHA	5/5/2016	MATERIAL: Arce	A3
FABR.	ÁNGEL JARABA ADRIÁN ADÍN	FECHA	2/6/2016		
				ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1



ACABADO

TÍTULO:

Tapa controles

**upna**  
 Universidad  
 Pablo de Olavide  
 de Sevilla  
 Facultad de Ingeniería

CANTIDAD

1

NOMBRE

Adrian Adin

FECHA

8/5/2016

DIBUJ.

Adrian Adin

MATERIAL:

Fibra de carbono

N.º DE DIBUJO

5

A4

FABR.

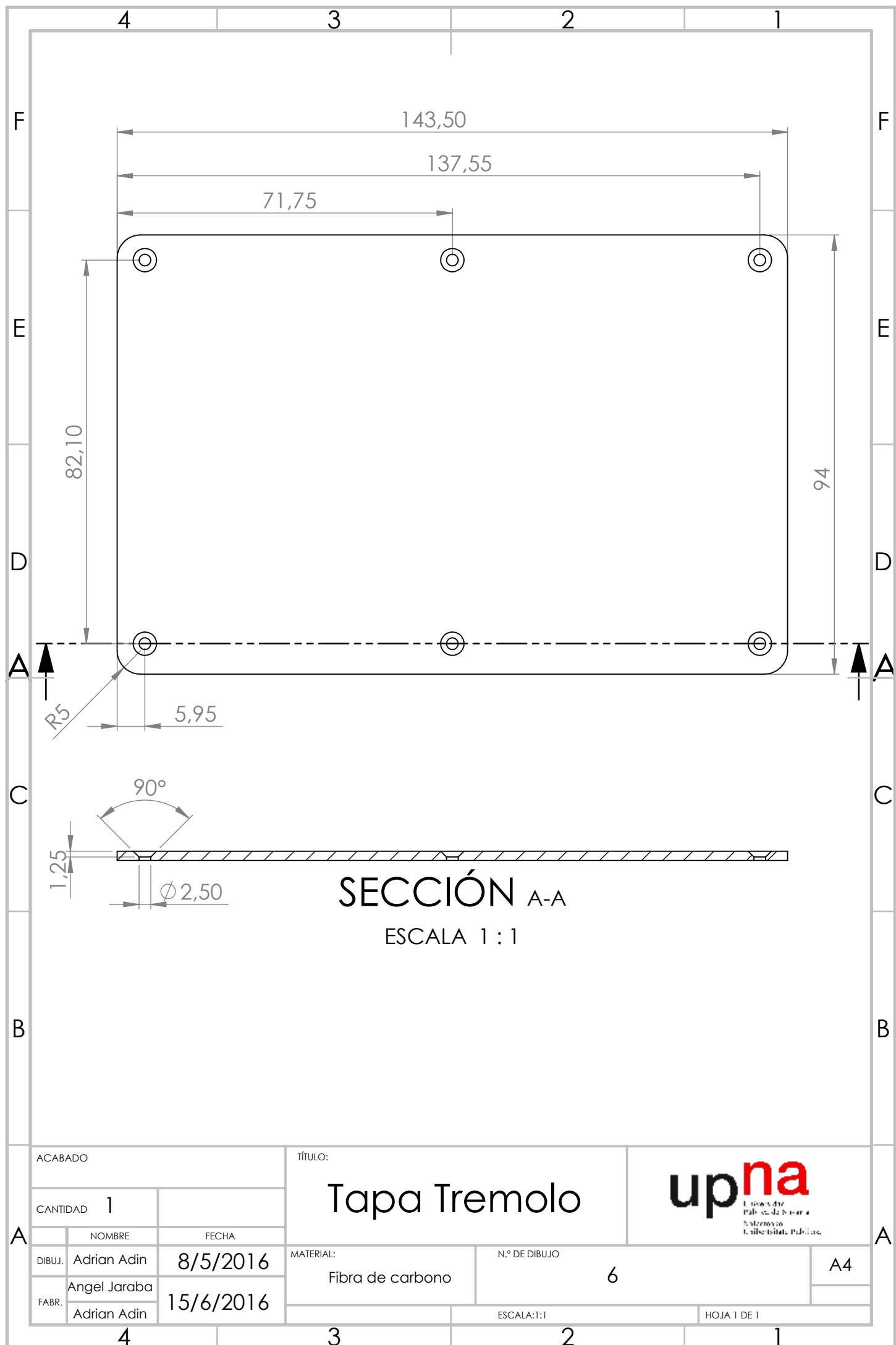
Angel Jaraba

13/6/2016

Adrian Adin

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



ACABADO

CANTIDAD 1

DIBUJ.

NOMBRE Adrian Adin

FECHA

8/5/2016

FABR.

Angel Jaraba

Adrian Adin

15/6/2016

TÍTULO:

Tapa Tremolo

MATERIAL:

Fibra de carbono

N.º DE DIBUJO

6

ESCALA:1:1

**upna**  
Unidad de  
Producción de  
Materiales  
Unidad de Producción

A4

HOJA 1 DE 1